Digitized by Google

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK GENT
3245

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

# Physikalisches Wörterbuch

V. Band.

Erste Abtheilung.

H.

Digitized by Google

Digitized by Google

Johann Samuel Traugott Gehler's

# Physikalisches Wörterbuch

neu bearbeitet

von

Brandes. Gmelin. Horner. Muncke. Pfaff.

## Fünfter Band.

Erste Abtheilung.

H.

Mit Kupfertafeln I bis XIII.

Leipzig,
bei E. B. Schwickert.
1829.

Digitized by Google

Digitized by Google

# H.

Haarröhrchen s. Capillarität.

## Hängebrücken.

Ponts suspendûs; *Bridges of suspension.* Brücken, deren Fahrweg nicht von einer festen Unterlage getragen wird, sondern an einer biegsamen Verbindung beider Ufer aufgehängt ist. Diese Verbindung besteht entweder aus Seilen von Eisendraht, oder aus eisernen Ketten, daher diese Werke auch *Drahtbrücken,* oder *Kettenbrücken* genannt werden. Früher wurden unter *Hängebrücken* vorzüglich diejenigen hölzernen Brücken verstanden, deren Fahrweg von einem im Seiten-Geländer und Dach angebrachten hölzernen Sprengwerk getragen wurde, wie z. B. die ehemalige Schaffhauser Brücke und einige Andere.

Die Erfindung der Hängebrücken gehört den Gebirgsländern Asiens und America's an. Starke Seile aus Stroh, Weidenruthen, oder Lianen verfertigt verbinden die felsigen Ufer eines Waldstroms, und der Weg geht über ein Quergeflecht von dünneren Stricken, das jene zusammenhält[1]. Reiser oder Bretter bedecken das Letztere, und ein parallel zur Seite gezogenes Seil macht das Geländer dieses schwankenden, dem Tritt der Wanderer nachgebenden, Baues aus. Alexander von Humboldt, der im Januar 1802 auf der Brücke *Penipe* über den Fluſs *Chambo* setzte, giebt derselben eine Länge von 120 Fuſs bei 7 Fuſs Breite. Die Seile von den faserichten Theilen der Wurzel der

---

1 Eine Abbildung einer solchen Brücke in ihrer einfachsten Gestalt sehe man in Rugendas Vues du Brésil. 1827. Beschreibungen von Augenzeugen finden sich in Legentil la Barbinais nouveau voy. autour du monde T. I. p. 88.

*Agave Americana* verfertigt, waren ¼ Fuſs dick[1]. Von derselben Art muſs auch die Brücke gewesen seyn, welche der vierte Yncas, Mayta Capak, ein weiser Regent und groſser Feldherr zur Erweiterung seiner Eroberungen über den Fluſs Apurimak spannte. Sie bestand aus fünf mannsdicken Tauen von Bindweiden, von denen drei den Boden der Brücke ausmachten, während die beiden Andern als Seitenlehnen dienten. Sie waren an einem System von Querbalken befestigt, welche gegen zwei aus dem Felsen gehauene oder auch gemauerte groſse Pfeiler gelegt wurden. Seile von der Dicke eines Armes machten den Querverband aus, und nahmen die Bretter des Fuſsbodens auf, die dann noch mit Schilf oder Reisig bestreut wurden. Diese Brücke war zweihundert Schritte lang und zwei Varas (7 Fuſs) breit[2].

Auch in der alten Welt wird die Erfindung der Hängebrükken einem Krieger zugeschrieben, und wohl dürfte hierin den Asiaten die Priorität zukommen. In der chinesischen Provinz Setschuen befinden sich drei Brücken, die von dicken Seilen getragen werden. Berühmter jedoch ist die eiserne Kettenbrücke über den Panho in der Provinz Quei-tschu. Auf den beiden Ufern des zwar nicht breiten, aber sehr tiefen Flusses wurden zwei massive steinerne Pfeiler von 6 bis 7 Fuſs Breite und 17 bis 18 Fuſs Höhe erbaut, welche (übereinstimmend mit der soliden Construction der heutigen Engländer), zusammen ein Thor bilden. An jedem Pfeiler hängen vier Ketten an ungeheuer groſsen Ringen, und diese sind durch kleinere Ketten dergestalt mit einander verbunden, daſs das Ganze einem Netz mit groſsen Maschen ähnlich sieht. Die Brücke ist mit starken Bohlen belegt, die wohl mit einander zusammenhängen, und von den Pforten aus führt eine feste, auf vorspringenden Balken liegende Brücke zum Niveau der Ketten hin: zu beiden Seiten ist ein einfaches hölzernes Geländer angebracht[3]. Aehnliche Brücken befinden sich in dem benachbarten Thibet. Unweit der Stadt

---

1 Humboldt Vues des Cordillères et Monumens des peuples indigènes de l'Amérique.

2 Allgem. Historie d. Reisen. T. XV. S. 392. u. 588. Die Errichtung dieser Brücke dürfte auf das Ende des zwölften Jahrhunderts fallen.

3 Allgem. Hist. d. Reisen. T. VI. S. 199. (nach Du Halde).

Digitized by Google

*Lassa* (30° 33′ N. Br. und 91° 40′ L. v. Greenw.) führt eine Brücke von fünf Ketten über den Fluſs *Tsanga.* Jede Kette soll aus 500 Ringen von 1 Fuſs Durchmesser bestehen [1]; woraus Rennel eine Distanz der Ufer von etwa 480 Fuſs ableitet, dreimal grösser als Turner sie angiebt [2]. Das Geländer ist von Bambusrohr. Turner beschreibt noch eine andere Kettenbrücke für Fuſsgänger, deren Construction mit der besten Methode der heutigen Architekten übereintrifft. Zwei parallele Ketten von 4 Fuſs Distanz sind über 8 Fuſs hohe Pfeiler gelegt, und gehen dann unter einer geringen Neigung nach der Erde hin, wo sie an einen groſsen Steinblock befestigt sind, welcher unter einer Last von Steinen begraben liegt. An diesen ist vermittelst Bändern aus Wurzeln und Schlingpflanzen eine Bohle von 8 Zoll Breite als Brückenweg aufgehängt, von solcher Länge, dass die Mitte 4 Fuſs unter die Ketten zu liegen kommt. Die Länge der Brücke beträgt 55 Fuſs.

Noch klarer und vollständiger erscheint diese Construction in einer Brücke, die nach dem Berichte des Capt. Basil Hall unweit St. Yago in Chili über den Fluſs Maypo geführt ist [3]. (Fig. 1.) Sechs starke gedrehte Riemen von rohem Büffelleder, je drei auf jeder Seite in einer Ebene übereinander hängend, tragen an verticalen ledernen Bändern von der Dicke des kleinen Fingers den vier Fuſs breiten aus kreuzweis gelegten Brettern bestehenden Fahrweg. Die letzteren sind, merkwürdig genug, an jenen so befestigt, daſs jeder erste verticale Riemen an dem obersten Tragseile, der folgende an dem mittlern, und der dritte am untersten angehängt ist. Am einen Ufer geht die Brücke in einen Felsen von 20 bis 30 Fuſs Höhe über dem Wasser; dort sind die Riemen in den Felsen selbst festgemacht. Auf dem andern flachen Ufer jedoch ist ein hohes Gerüst von starken Balken aufgerichtet, über welches die sechs Riemen hinübergezogen und in sehr wenig geneigter Richtung um eingegrabene Stämme gewunden sind. Der Fahrweg selbst ist möglichst geradlinig; die Hauptseile aber bilden einen flachen Bogen. Den Aussagen der Einwohner zufolge haben die Spanier bereits bei ihrem Eintritt

---

1 Georgi, Alphabetum Thibetanum.

2 Rennel, description de l'Indostan. T. III. p. 92. et Turner Relation de l'Ambassade au Thibet. S. 75. u. 79. d. deutsch. Uebers.

3 Edinburgh philos. Journ. No. 27. p. 52.

in dieses Land vor 300 Jahren diese Brücken, so wie sie jetzt sind, vorgefunden.

Vermuthlich war es die Kenntniſs dieser Brücken, die einen wenig bekannten Schriftsteller, FAUSTUS VERENTIUS in den Stand setzten, im J. 1625 in einem in mehreren Sprachen herausgegebenen Werke die Hängebrücken mit aller Vollständigkeit und nach ihrer besten Construction zu beschreiben [1]. Die Seltenheit dieses Werks und die schlechte Einrichtung der orientalischen Kettenbrücken mochten Ursache seyn, daſs die Aufmerksamkeit der europäischen Architekten nie auf diesen Gegenstand hingelenkt wurde, und daſs selbst der erste Versuch dieser Art in England, die Kettenbrücke von Winch über den Fluſs Tees, welcher die Grafschaften Durham und York scheidet, in Dunkelheit blieb [2]. Diese Brücke ist nach Art der Chinesischen gebaut; zwei Ketten von 70 Fuſs sind 60 Fuſs hoch über einen Abgrund gespannt; die Brücke von 2 Fuſs Breite liegt auf den Ketten selbst, und ist nur auf der einen Seite mit einer Lehne versehen; sie ist auch allen den Biegungen und Schwankungen unterworfen, die dieser Construction eigenthümlich sind. Man setzt die Zeit ihrer Erbauung ins J. 1747. Erst mit dem gegenwärtigen Jahrhundert beginnt die eigentliche Epoche der Hängebrücken, und zwar zuerst in America, seitdem der Landeigenthümer FINLAY die richtigen Grundsätze dieses Baues hervorrief, zufolge welcher der Fahrweg der Brücken von verticalen Stangen getragen wird, die an den Ketten aufgehängt sind. Bereits im J. 1808 war die Regierung der vereinigten Staaten im Fall, für diese Brücken ein Patent zu bewilligen, und im Jahr darauf wurde über den Fluſs Merrimak in der Provinz Massachusets eine fahrbare Kettenbrücke von 244 Fuſs engl. einfacher Bogenweite u. 30 Fuſs Breite errichtet. Zehn Ketten, jede etwa 516 Fuſs lang, waren über gemauerte Tragpfeiler von 37 Fuſs Höhe und ein auf diesen errichtetes Zimmerwerk von 35 Fuſs Höhe geschlagen, und weiterhin tief unter schweren Steinmassen in die Erde befestigt. Die Brücke soll 20000 Piaster gekostet haben, und auf eine Last von 10,000 Centner berechnet seyn. Nicht minder gigan-

---

1 NAVIER, Memoire et Rapport sur les ponts suspendus. Paris, 1824. Introd. u. SEGUIN ainé Des ponts en fil de fer. 1826. 4. p. 27.

2 STEVENSON Bridges of suspension. Edinb. philos. Journ. No. X. u. Bibl. univers. T. XXI.

Digitized by Google

tisch ist eine Brücke von 350 Fuſs aus zwei Bogen, welche über den Wasserfällen von Sckuylkill schwebt, und eine andere aus vier Bogen von 450 Fuſs.

Schon im J. 1807 hatte ein französischer Ingenieur Belü das Project eingegeben, über einem Arm des Rheins zwischen Wesel und Ruderich eine Brücke mit einen hängenden Bogen von 770 franz. Fuſs Oeffnung zu schlagen. Der Fahrweg hätte über die Ketten hingehen sollen, mithin wäre, da man denselben keine merkliche Senkung hätte geben dürfen, die Spannung auſserordentlich groſs geworden; eine Betrachtung, die nicht geeignet war, diesem Vorschlage Eingang zu verschaffen.

Dem Beispiele der kühnen Amerikaner folgend faſste der englische Ingenieur Telford im J. 1813 den Plan, über die Ausmündung des Mersey 20 engl. Meilen unterhalb Liverpool eine Kettenbrücke zu führen. Sie sollte aus einem Hauptbogen von 940 fr. Fuſs nebst zwei Halbbogen von 456 Fuſs bestehen, mithin etwa 1900 Fuſs ganze Länge erhalten, und 62 Fuſs hoch über dem Wasser schweben, um den Schiffen freien Durchgang zu gestatten. Das Ungeheure dieser Unternehmung machte die Actionnairs erschrecken; doch gab sie immerhin Gelegenheit zu nützlichen Untersuchungen über die Stärke des Holzes und Eisens, die Barlow in einem besondern Werke mitgetheilt hat.

Bis zum J. 1818 wurden in England nur drei kleinere Brükken für Fuſsgänger erbaut; die zu Galashiel von 111 Fuſs Länge, die von Kings Meadows über den Tweed von 110 Fuſs, und die von Thirstane über den Etterik von 125 Fuſs Länge. Alle drei sind von Eisendraht construirt nach einem System, dessen Verwerflichkeit sich besonders bei der Kettenbrücke von Dryburgh zu erkennen gab, die im Januar 1815 vom Sturm zerrissen wurde. Der Fahrweg ist hier nämlich nicht an einem Kettenbogen aufgehängt, sondern wird durch Schrägbänder $r$, $r$, $r$; die als Radien vom Tragpfeiler (p) ausgehen, gehalten; Fig. 2.
eine Anordnung, die hauptsächlich nach der Mitte der Brücke hin, der verticalen Haltung des Fahrwegs äuſserst ungünstig ist. Die Vereinzelung der Tragekräfte in diesen Radien veranlaſste eine ganz ungleiche Spannung in denselben, so daſs die einen Alles zu tragen hatten, während dem die andern locker waren. Die senkrechten Schwingungen dieser Brücke waren daher so stark, daſs einst vier Personen, die sich den Spaſs machten, die Schaukelung zu ihrem Maximum zu bringen, eine der längsten

Digitized by Google

Ketten sprengten, und daſs in jenem Sturme nach dem Urtheil der Augenzeugen Niemand die Brücke hätte betreten dürfen, ohne von diesen Schwingungen über das Geländer hinausgeworfen zu werden.

Nach dieser Zeit trat Telford mit dem Projecte auf, durch eine Hängebrücke die Ufer des Canals zu vereinigen, welcher England von der Insel Anglesea trennt, und die Menaistraſse genannt wird. Von beiden Küsten treten gemauerte Brücken, auf Arcaden ruhend, heraus, zwischen welchen der Hauptbogen von 540 F. Weite die Hängebrücke bildet. Telford wollte sie anfangs an sechszehn Eisentauen aufhängen, deren Construction jedoch von den eigentlichen Drahtseilen merklich abwich. Sechs und dreiſsig viereckigte lange Eisenstangen von einem halben Zoll Durchmesser sollten so an einander gelegt werden, daſs sie ein viereckiges Prisma bildeten, dessen Durchschnitt ein Quadrat von drei Zollen Seite war. Vier Segmente von der Form eines senkrechten Cylinderabschnitts mit den planen Seiten auf das Prisma gelegt, sollten sodann das Quadrat seines Querschnittes zu einer Kreisfläche ergänzen, so daſs das Ganze ein rundes Tau vorgestellt hätte, dessen Theile durch einen spiralförmig umgewundenen Draht zusammengehalten worden wären. Allein er gab dieses System nachher wieder auf, und bei der Ausführung wurden Ketten aus 10 Fuſs langen Stäben verfertigt, angewandt; jetzt (i. J. 1828) bildet diese Brücke nebst der nächst zu erwähnenden Unionbrücke eines der schönsten Denkmale moderner Baukunst.

Die erste groſse, nach den besten Grundsätzen ausgeführ-
Fig. 3. te Kettenbrücke (die Unionbrücke über den Tweed) wurde im Aug. 1819 von dem Erfinder der Ankerketten, dem Capitain Samuel Brown angefangen, und in eilf Monaten zu Stande gebracht. Ihre Spannweite beträgt 420 Fuſs und die Brücke selbst ist 380 Fuſs lang und 18 Fuſs breit: in der Mitte ist sie um 2 Fuſs gehoben, so daſs sie, selbst wenn die Ketten etwas nachgeben sollten, nie concav werden kann. Sie hängt an zwölf Ketten, von denen je zwey in horizontaler Ebene neben einander liegen, und bei ihren Gelenken die verticalen Tragstangen zwischen sich aufnehmen. Auf jeder Seite der Brücke hängen drei solcher Kettenpaare über einander dergestalt, daſs ihre Gelenke nicht in der nämlichen Verticale sich befinden, sondern je um ½ eines Kettenstabes der Länge nach versetzt sind.

Digitized by Google

Auf diese Weise bilden die Aufhängestangen eine Reihe von gleichen Zwischenräumen, die nahe genug sind, um die zwei äuſsern Längenbalken des Fahrweges gehörig zu stützen. Die Kettenstäbe sind Cylinder von 15 Fuſs Länge und 2 Zoll Durchmesser. An ihren Enden sind sie aufgetrieben und durchbohrt; ein ovaler stählerner Bolzen befestigt sie zwischen zwey platte Eisenstücke, welche das Gelenk der Kette ausmachen. Ihre Länge beträgt 432 Fuſs von einem Aufhängepunct zum andern, und sie bilden daselbst mit der Horizontallinie einen Winkel von 12 Graden. Der Pfeil der Senkung des mittlern Kettenpaares ist etwa 26 Fuſs, das Gewicht dieser Ketten beträgt gegen 2000 Centner. An dem flachern schottischen Ufer des Flusses gehen sie über einen gemauerten Pfeiler von 60 Fuſs Höhe, 57 Fuſs Breite, und 19 Fuſs Dicke nach der Richtung der Brücke. Bis auf 20 F. Höhe ist er gerade, nachher verjüngt, so daſs er eine abgestumpfte Pyramide darstellt, deren obere Fläche noch 28 und 15 F. in Kanten hält: in der Höhe des Fahrwegs ist er noch 32 F. breit. Ein gewölbtes Thor von 12 Fuſs Breite und 17 Fuſs Höhe führt durch denselben auf die Brücke. Jede dieser Doppelketten geht über eine groſse Rolle, und ist daselbst in kürzere Gelenke nach Art der Ketten in Taschenuhren gebrochen; sie liegen in verticalen Intervallen von 2 Fuſs über einander. Von da gehen die Spannketten schräg nach der Erde hin, so daſs sie den Boden unter einem Winkel von etwa 35 Graden berühren, und setzen diese Richtung bis auf 24 Fuſs Tiefe unter denselben fort. Daselbst sind sie durch ungeheure Tafeln von Guſseisen von 6 und 5 Fuſs in Kanten, die in der Mitte, 5 Zoll am Rande 2½ Zoll Dicke haben, geführt, uud mit groſsen ovalen Bolzen verzapft; der darüber befindliche Raum ist mit Steinen und Erde fest ausgefüllt. Am englischen Ufer ist das Mauerwerk an einem Sandsteinfelsen angelegt, und bedurfte seiner Lage wegen nur 24 Fuſs Höhe; seine Dimensionen sind mit den vorigen einerlei; hier gehen die Ketten nur über eine Art Sattel von Guſseisen, und treten dann in beinahe senkrechter Richtung an das Fundament des Mauerwerks hinunter; sie werden dort von eben so groſsen Tafeln festgehalten, die in dem Felsen eingesprengt und noch durch ein horizontal darüber gehendes Gewölbe gesperrt sind. Der Fahrweg liegt auf hölzernen Längenbalken, die 15 Zoll hoch und 7 Zoll dick sind; die querliegenden Bohlen haben 3 Zoll Dicke und sind für die Fuhrwerke mit eisernen

Digitized by Google

Geleisen versehen. Die Tragstangen von 1 Zoll Dicke stehen 5 Fuſs aus einander, an jeder Kette um 15 Fuſs. Das Geländer ist 5 Fuſs hoch, und besteht aus einem eisernen Netze, dessen Rauten 6 Zoll Seite haben. Das ganze Werk mit Gemäuer und Eisen wurde von dem Erbauer für die geringe Summe von 5000 Pf. Sterling geliefert; allein die Unternehmer fanden nachher für gut, seine Uneigennützigkeit durch ein Geschenk von 1000 Pfund zu belohnen.

Die Seichtheit der Küste am Hafen von Leith veranlaſste den nämlichen Architekten, den Bau eines langen Einladungsdammes (Einschiffungsdammes, embarcadère) nach dem Princip der Kettenbrücken vorzuschlagen. Er wurde im J. 1821 ausgeführt. Die ganze Länge dieser Brücke beträgt 700 Fuſs, welche auf drei Bogen von 230 Fuſs vertheilt sind: ihre Breite hält 4 Fuſs. Der erste Unterstützungspfeiler befindet sich am Lande, und ist gemauert, der äuſserste, welcher den Kopf der Brücke ausmacht, besteht aus 40 eingerammten Pfählen, die einen Raum von 60 Fuſs Länge und 50 F. Breite einschlieſsen, und durch horizontale Querbalken zu einem festen Bau, der sowohl dem Wellenschlage als auch dem Zuge der Ketten zu widerstehen vermag, verbunden sind. Die zwei zwischenliegenden Unterstützungspuncte sind ebenfalls nur Pfahlwerk, mit durchbrochenen Pfeilern aus Guſseisen, über welche die Ketten gehen.

Die Vortheile, die diese so einfache Ladungsbrücke gewährte, die Zertheilung, vermöge welcher ein so durchbrochenes Pfahlwerk die Wuth der Wellen entkräftete, veranlaſste bald eine ähnliche noch gröſsere Unternehmung bei Brighton. Die dortige Brücke besteht aus drei Hängebogen, jeder von 230 Fuſs Länge; ihre Breite beträgt 11 Fuſs.

Im J. 1823 verfertigte der unternehmende Baukünstler Brunel zwei Kettenbrücken, die nach der Insel Bourbon bestimmt waren. Die dort wüthenden Orkane machten eine vorzügliche Stärke aller Theile nothwendig. Brunel versah daher den Fahrweg noch mit einem umgekehrten Kettenbogen unter der Brücke. Das Ganze besteht aus zwei Bogen von 130 Fuſs Länge. In der Mitte gehen die Ketten über einen durchbrochenen Pfeiler von Guſseisen von 24 Fuſs Höhe, der auf einer über das Wasser herausragenden gemauerten Unterlage ruht.

In Frankreich waren die Gebrüder Séguin zu Annonay, die

Digitized by Google

erſten, welche den Verſuch einer kleinen Hängebrücke für Fuſsgänger wagten, die nur 50 Franken koſtete. Ihnen folgte bald der Oberſt Düfour in Genf, der eine Brücke über zwei Graben der dortigen Feſtungswerke leitete. Wenn allerdings die erſte Idee, ſtatt der Ketten die wohlfeileren Drahtſeile anzuwenden, den Gebrüdern Séguin angehört, ſo hat dagegen Düfour das Verdienſt, dieſes Syſtem in einem hinreichend groſsen Maſsſtabe ausgeführt, und ſeine Vorzüge durch eine Menge trefflicher Verſuche begründet zu haben. Das von ihm über dieſen Bau herausgegebene Werk enthält überdem die erſten theoretiſchen Unterſuchungen über dieſen Gegenſtand, und eine Menge ſehr ſchätzbarer praktiſcher Angaben und Winke, wobei ſelbſt etwanige Miſsgriffe mit einer Offenheit und Beſcheidenheit dargelegt ſind, die das wahre Kennzeichen perſönlicher Vorzüglichkeit ausmacht. Der Raum, über den man zu ſchreiten hatte, betrug 269 engl. Fuſs; in der Mitte des Grabens befand ſich ein Zwiſchenwall von 84 Fuſs Breite, der äuſsere Graben war 110 Fuſs, der innere 75 Fuſs weit. Dieſes nöthigte ihn, der Brükke zwei Bogen zu geben, deren Zwiſchenpfeiler man genau in die Mitte ſetzte. Die Tragpfeiler waren 12 Fuſs hoch und 11 Fuſs breit, und von einem Thorwege von 10 Fuſs Höhe u. 6 Fuſs Breite durchbrochen. Der Fahrweg hängt an ſechs Drahttauen, deren jedes aus 90 Drähten No. 14. von 2,1 Millim. (oder 0,93 Par. Lin.) Durchmeſſer beſteht, und die zu dreien auf jeder Seite ſenkrecht über einander hängen. Das unterſte derſelben berührt den Fahrweg, und das oberſte das Geländer deſſelben. Auf der Stadtſeite ſind ſie hinter dem Tragpfeiler mit verticalen, am äuſsern Ende angeneigten Spannketten verbunden, welche ſolid im Boden befeſtigt ſind. Die Hängeſtangen, welche die Brücke tragen, beſtehen aus 12 Drähten, die wie die Drahttaue mit ausgeglühtem Eiſendrathe umwunden ſind. Um die horizontalen und verticalen Schwankungen der Brücken zu verhindern, ſind an den Endpuncten einer jeden zwei ſeitwärts und niederwärts gehende Schrägbänder, aus 32 Drähten beſtehend, angebracht, und in der Stützmauer des Grabens befeſtigt. Die Brücken ſelbſt, von 6 Fuſs Breite beſtehen aus Holz, und ſind mit eiſernem Geländer verſehen. Eine umſtändliche Beſchreibung des bei Verfertigung der Drahtſeile und der Errichtung der Brücke ſelbſt angewandten Verfahrens machen Düfour's Schrift zu einem unentbehrlichen Hülfs-

buche für jeden, der den Bau einer gröſsern oder kleineren Drahtbrücke versuchen möchte.

Eine Drahtbrücke für Fuhrwerke wurde im Jahr 1825 von den Gebrüdern Séguin zwischen Tain und Tournon über die Rhone errichtet. Eine königl. Verordnung hatte im Jan. 1824 die Erbauung derselben und den Unternehmern ein angemessenes Brückengeld für 99 Jahr bewilligt. Sie besteht aus zwei gleichen Hängebogen, jeder von 262 franz. F. Länge, deren 12 Drahtseile über einen Zwischenpfeiler, 31 F. hoch über dem Fahrwege aufgehängt sind. Letzterer hat zwischen den Geländern 13 F. Breite, ist aber auf 50 F. um den Mittelpfeiler bis auf 19 F. erweitert, um sowohl das Vorbeifahren der Fuhrwerke zu erleichtern, als auch der Brücke in horizontaler Richtung mehr Festigkeit zu geben. Beide Brücken steigen gegen den Mittelpfeiler mit einiger Wölbung hinan, so daſs das Ganze einem Bogenstück von 1078 F. Radius gleich sieht. Das gemauerte Widerlager auf der Seite von Tournon ruht auf anstehendem Fels, der Zwischenpfeiler und die Tragmauer auf der Seite von Tain liegen auf solidem Pfahlwerk, dessen Fuſs mit Steinblöcken verwahrt ist. Die Unterlage des Mittelpfeilers ist ein gemauertes Prisma von 52 F. Länge in der Richtung des Stromlaufes, 18 F. Breite und 24 F. Höhe vom Rost des Pfahlwerkes bis zur Brücke. Ein Thorweg von 12 F. Breite und 18 F. Höhe durchbricht den darüber stehenden Pfeiler. Von entsprechender Ausdehnung und Festigkeit sind auch die mit Pforten versehenen Widerlager der Endpuncte. Jedes der zwölf Drahtseile besteht aus 112 Eisendräthen von No. 18. 3 Millim. oder 1½ Lin. dick. Sie gehen je sechs auf jeder Seite über den Pfeiler und die Widerlager, hinter welchen sie meist vertical hinuntergezogen sind, und bilden drei Hängebogen, an welchen in abwechselnder Ordnung die verticalen Tragstäbe der Brücke aufgehängt sind. Das Geländer der Brücke aus rautenförmig zusammengelegten Holzstäben gebildet, deren Rauten durch verticale Eisenstangen zusammengezogen werden, bietet eine bedeutende Festigkeit dar, und hilft den Fahrweg steifer machen. Die vereinte Tragkraft der Drahtseile wurde zu 450000 Kilogr., die der Widerlager auf 600000 K. berechnet. Bei einer obrigkeitlich angeordneten Prüfung der Brücke wurde dieselbe durch Ueberführen mit Kiessand allmälig bis auf 58000 Kilogr. belastet, wobei die Senkung des Bogens gemessen

Digitized by Google

wurde. Sie ging für diese Last bis auf 9 Zoll, dagegen zeigten zwei empfindliche Wasserwaagen, welche auf dem einen Widerlager und auf dem Mittelpfeiler sich befanden, nicht die geringste Aenderung. Endlich brachte man zwei beladene Wagen, die mit ihren Pferden zusammen 7900 Kil. wogen, auf die Brükke, wozu sich noch über 50 Personen gesellten, so dass dieselbe mit 69150 Kil. belastet war. Dessen ungeachtet war weder an den Drahtseilen noch an dem Mauerwerke nur die mindeste Spaltung oder Störung zu bemerken; und als man Tags darauf die Last wieder abräumte, trat auch die Senkung der Ketten wieder bis auf 2 Zolle in ihre vorige Lage zurück. Dieser Bau leistet also den genügenden Beweis, daſs man auch mit Drahtseilen, wie mit Ketten, groſse fahrbare Brücken construiren kann.

Seit der Zeit hat sich die Zahl der Ketten und Drahtbrükken noch bedeutend vermehrt; im St Petersburg allein befinden sich gegenwärtig fünf Drahtbrücken, von denen zwei für Fuhrwerke bestimmt sind, und bis 97800 Kilogr. tragen. In Wien ist durch die Errichtung der Sophienbrücke die Bahn für diese Constructionen gebrochen. Auch in England und America ist die Zahl der Kettenbrücken zunehmend. Die Fortschritte der Mechanik und besonders der Siderotechnik werden allmählig auch in den übrigen Theilen Europas eine Veranstaltung verbreiten, welche eine der nützlichsten Früchte der Thätigkeit unsers unternehmenden Zeitalters ist.

## Allgemeine Bemerkungen.

Es kann nicht die Absicht dieser Darstellung seyn, eine vollständige Anweisung zum Bau der Hängebrücken zu geben: diese findet der Wiſsbegierige in dem geschichtlichen Details über die bisher erbauten Ketten- und Drahtbrücken, deren Literatur am Schlusse dieses Artikels gegeben ist, vorzüglich in dem für diesen Gegenstand classischen Werke von Navier, denjenigen von Dufour, Séguin und Freiherrn von Mitis. Aus der Geschichte der Hängebrücken ergiebt sich auch zuvörderst, daſs diejenige Construction, bei welcher der Fahrweg an einzelnen, von einem Gerüste am Ufer ausgehenden, Radien oder Schrägbändern aufgehängt ist, wegen der ungleichen Anspannung der Letztern keine Sicherheit gewähre, und daſs diese nur von einer, beide Ufer vereinigenden, biegsamen Li-

Digitized by Google

nie erwartet werden kann, welche nach Art der *Kettenlinie* gekrümmt ist. Schon Galilei kannte dieselbe, und machte auf ihre nahe Uebereinstimmung mit der Parabel aufmerksam, ohne sich jedoch in eine mathematische Untersuchung derselben einzulassen [1]. Später bemerkte Joh. Joachim Jung von Hamburg, daſs die Kettenlinie eine von der Parabel verschiedene Linie sey, und im J. 1690 stellte Jac. Bernoulli in den Actis Eruditorum nach damaliger Uebung die Theorie derselben als ein Problem auf, das durch Leibnitz und Joh. Bernoulli gelöst [2] ward. Im J. 1697 wurde eben dieses von David Gregory [3] versucht, der zuerst die Tauglichkeit der umgekehrten Kettenlinie für steinerne und hölzerne Brückenbogen bemerkte; Euler's [4] allgemeine Theorie der Spannung eröffnete endlich den einfachsten Weg zur vollständigen Bestimmung dieser Linie.

Theorie und auch die von Galilei selbst angerufene Erfahrung zeigen, daſs die Kettenlinie, wenn die Entfernung ihrer festen Punkte gegen ihre Senkung sehr groſs ist, wie dieses gerade bei den Hängebrücken statt findet, sehr wenig von der Cykloide und auch von der Parabel abweiche. Da überdem die Kette hier nicht freischwebend erscheint, sondern durch den angehängten Brückenweg in allen Theilen einen nahe gleichen senkrechten Zug erleidet, so entfernt sich ihre Gestalt von der eigentlichen Kettenlinie und geht wirklich in die Parabel über,

---

1 Allzubestimmt wird beinahe in allen Lehrbüchern ausgesprochen, daſs Galilei die Kettenlinien mit der Parabel *verwechselt* habe. Indem er die parabolische Bahn geworfener Körper untersucht, zeigt Galilei aus der Senkung einer schweren Kette, und der Unmöglichkeit, sie genau horizontal und geradlinigt auszuspannen, auch die Unmöglichkeit eines geradlinigten horizontalen Schusses. Eine auf ein Bret gezeichnete Parabel, den Scheitel nach unten gekehrt, sey mit der Bahn einer aufgehängten Kette *sehr nahe* übereinstimmend, und die Anpassung sey um so genauer, je flacher der Bogen, oder je ausgespannter die Kette sey; für Elevationswinkel unter 45° fallen diese Curven *quasi ad unguem* zusammen. Die Kettenlinie biete also für die Praxis ein bequemes Mittel dar, die Puncte verschiedener Parabeln auf einer Tafel schnell zu bestimmen. S. Galilei Opere. T. III. p. 169. Edit. von Padua. 1744.

2 Bernoulli Opera. T. I. p. 48. u. III. p. 491.

3 Philos. Trans. Abridged. I. p. 39.

4 Novi Comment. Petropol. T. XV. u. XX.

Digitized by Google

sie ist nur Kettenlinie, wenn das Gewicht des Brückenweges gegen dasjenige der Kette Null ist, und umgekehrt wird sie zur völligen Parabel, wenn die Schwere der Ketten gegen das der Last der Brücke selbst nicht in Betracht kommt. Das Letztere ist, wenn auch nicht immer, doch bei weitem am häufigsten der Fall, und so kann man bei der Berechnung der einzelnen Bestimmungsstücke statt der unbequemen Ausdrücke, welche die strenge Theorie der Kettenlinie liefert, die einfachern der Parabel in Anwendung bringen. Ueberhaupt müſsen alle Verhältnisse nicht nach einer theoretischen Annahme der einen oder andern Curve, sondern mit sorgfältiger Rücksicht auf den definitiven Zustand des Ganzen berechnet werden. Hierher gehört namentlich die Berechnung der Tragstangen, deren Länge bei der Anwendung im Groſsen nach der einen oder andern Theorie beträchtlichen Verschiedenheiten unterworfen ist[1]. Immerhin liefert die gemeinsame Theorie dieser Curven einige wichtige Hauptsätze, welche bei Constructionen dieser Art zum Grunde gelegt werden müssen, deren Beweis in den betreffenden Lehrbüchern nachgesehen werden kann:

1. Die Gewalt, mit welcher die Kette *in horizontaler Richtung* auszuweichen strebt, ist in allen Theilen derselben gleich groſs, und der Spannung im Scheitel gleich.

2. Die Gewalt, mit welcher die Kette in irgend einem Puncte *nach verticaler Richtung* zu zerreiſsen strebt, ist gleich dem Gewichte der Kette von diesem Punkte an bis zum Scheitel.

3. Die *Spannung am Scheitel* oder die horizontale Spannung steht bei gleichen Spannweiten im umgekehrten Verhältniſs mit der Tiefe des Bogens oder dem Pfeile von der Chorde nach der Mitte desselben.

4. Sie wächst hingegen nach den Quadraten der Spannweiten.

5. Am Scheitel ist die Spannung am kleinsten, und sie

---

1 Séguin umgeht die Berechnung der Länge der Tragstangen durch ein praktisches Verfahren. Nachdem eine der Ketten aufgehängt ist, spannt er einen feinen Draht als Abscissenlinie genau in der Richtung des Fahrwegs, und bestimmt von diesem aus die Ordinaten nach der Curve hin durch directe Messung, deren Ergebnisse jedoch später nach Belastung der Curve einer Berichtigung unterworfen seyn möchten.

Digitized by Google

wächst mit der Abscisse vom Scheitel an gerechnet; sie ist daher am Aufhängepuncte am gröſsten.

6. Für jedes Bogen-Element ist sie proportional der Cosecante des Winkels, den dasselbe mit der Horizontallinie bildet; daher bei flachen Bogen die Spannung auſserordentlich groſs wird.

7. Die Spannung einer Stelle in der Kettenlinie ist der Quadratwurzel aus ihrem Krümmungshalbmesser proportional, sie ist daher vom Scheitel an zunehmend.

8. Die horizontale Spannung verhält sich wie der Krümmungshalbmesser am Scheitel und wird durch das Gewicht einer Kette gemessen, die mit diesem Krümmungshalbmesser einerlei Länge hat, und vom gleichen Querschnitt mit der Kette am Scheitel ist. Nun ist in der Parabel der Krümmungshalbmesser genau dem halben Parameter gleich, und somit ist nach der bekannten Gleichung dieser Curve $y^2 = px$, die horizontale Spannung $Q = \frac{1}{2}p = \frac{y^2}{2x}$. Bezeichnet y die halbe
Fig. 4. Spannweite $\frac{1}{2}W$, und x den Pfeil f, so wird $Q = \frac{W^2}{8f}$, und da W eigentlich das Gewicht eines Prisma ausdrückt, dessen Basis der Querschnitt der Brücke in der Gegend des Scheitels (Ketten und Fahrweg zusammengenommen) und dessen Höhe die Spannweite ist, so ist die horizontale Spannung dem Gewichte der ganzen Brücke gleich, wenn die Senkung der Kette den achten Theil der Spannweite beträgt. Ist $f = \frac{W}{n}$, also $W = nf$, so wird $Q = \frac{nf \times nf}{8f} = \frac{nW}{8}$. Wird z. B. der Pfeil nur halb so groſs ($\frac{1}{16}$ der Länge) also $n = 16$, so wird die horizontale Spannung $= 2W$, d. h. doppelt so groſs als das Gewicht der Brücke. Hierbei ist jedoch noch dasjenige Gewicht der Kette auſser Acht gelassen, das vom Ueberschuſs der Bogenlänge über die Spannweite herrührt, und welches selten mehr als $\frac{1}{100}$ der ganzen Last ausmacht. Sind also beide, der Fahrweg und die Ketten durchgängig von gleichförmigem Querschnitte, so ist die Spannung am Scheitel dem Gewichte des Ganzen gleich, wenn $f = \frac{1}{8}W$, und sie verändert sich im umgekehrten Verhältniſs mit der Senkung f.

Diesen allgemeinen theoretischen Sätzen lassen sich aus

Digitized by Google

Navier's vollständiger Untersuchung des Gegenstandes noch einige andere über die verticalen und lateralen Schwankungen eines solchen Systems, so wie über seine Längenschwingungen beifügen, die jedoch durch die verschiedene Solidität der Construction wesentlich modificirt werden. Wenn auch das Nachgeben und die Biegsamkeit eines Systems bei einem allzustarken Impuls das Zerbrechen hindert, so wirkt auf der andern Seite eine allzugroſse Beweglichkeit und das Hin- und Herarbeiten abnutzend und zerstörend auf die einzelnen Theile und und ihre Verbindung. Aus diesem Grunde, da die Schwankungen der Ketten im geraden Verhältniſs der Quadratwurzel des Pfeiles und im umgekehrten der Spannweite stehen, dürfte es gerathener seyn, die *Senkung* im Verhältniſs der Spannweite *in so weit zu vermindern*, als es die dadurch vergröſserte horizontale Spannung nur immer gestattet, und dagegen zu diesem Ende die Stärke der Tragketten zu vermehren[1]. Nicht minder wichtig ist es auch, dem *Fahrwege*, sey es durch die Einrichtung seines *Geländers* oder durch ein leichtes Sprengwerk die *möglichste Steifigkeit* zu verschaffen, und somit sowohl die localen Eindrücke einer beweglichen Last auf das Ganze zu vertheilen, als auch den Seitenbiegungen der Brücke, welche von Windstöſsen auf sie ausgeübt werden, entgegen zu wirken[2]. Auch das Gewicht des Fahrwegs, welcher durch seine Construction oder durch Bedecken mit Kiessand erhöht werden kann, trägt wesentlich dazu bei, das Ganze gegen die Einwirkung der zufälligen Lasten unempfindlicher zu machen. Wenn auch eben dieses eine vermehrte Stärke der Tragketten erforderlich macht, so wird dagegen, zumal bei gröſseren Brücken an Sicherheit und Dauerhaftigkeit wesentlich gewonnen.

Die *Tragpfeiler* der Ketten können für leichte Brücken von Zimmerwerk, für gröſsere von Guſseisen oder Mauerwerk gemacht werden. Sie bilden entweder bloſse Säulen, oder eine Masse breiter als die Brücke selbst, durch welche ein Thorweg auf diese hinführt. Die letztere Construction, wenn sie auch

---

1 Bei den americanischen Kettenbrücken ist die Senkung meist $\frac{1}{7}$ der Spannweite, bei den Englischen etwa $\frac{1}{15}$.

2 Wie Brunel's Versuch, durch einen, nach Dufour's Vorschlag, *unter* dem Fahrweg zu beiden Seiten fortgeführten, *nach oben convexen* Kettenbogen die Steifigkeit der Ersten zu bewirken, sich bewährt habe, ist noch nicht bekannt geworden.

Digitized by Google

etwas schwerfällig aussieht, dürfte doch durch ihre Solidität für gröſsere Brücken sich empfehlen. *Eine bedeutende Ausdehnung der Basis* dieses Mauerwerks, seyen es Säulen, Pyramiden oder Prismen, oder eine groſse cubische Masse ist unerläſslich, um dem mächtigen Seitenzuge zu widerstehen, und durch eine hinreichende Zurücksetzung des Schwerpunctes jede Umwälzung unmöglich zu machen. Diese Vorsicht wird besonders nothwendig, wenn man die Spannketten sogleich hinter ihrem Auflagepunkte senkrecht herunterführt, und sie dort entweder an Felsen oder groſsen Steinblöcken anhaftet, oder in eine Art Keller hinabgehen läſst, wo sie unter dem Gemäuer befestigt werden. Obwohl hier der senkrechte Zug der Spannketten jede Umstürzung unmöglich macht, so wird dagegen dem beinahe horizontalen Seitenzug der Tragketten, und der Verschiebung durchaus kein anderer Widerstand entgegengesetzt, als welchen die Solidität des Gemäuers leistet, daher diese Leitung der Spannketten bei Säulen von geringer Basis Gefahr bringen würde. Daſs hierbei überhaupt auf eine hinreichende *Befestigung des Ufers*, da, wo sie nicht von Natur gegeben ist, durch ein tiefgehendes Pfahlwerk gesehen werden müsse, bedarf keiner Erinnerung.

Die sicherste Unterstützug der Ketten bleibt immer diejenige, wo sie dergestalt über die Tragpfeiler hin gezogen werden, daſs sie *zu beiden Seiten gleiche Winkel* bilden. In diesem Falle wird der Druck, den sie ausüben, ganz senkrecht, und insofern nur das Fundament fest ist, so wird auch eine weniger massive Unterstützung doch keinen Unfall besorgen lassen. Um dabei jeden Seitenzug zu verhindern, sollte man auch die, von starker Belastung oder durch Wärmeausdehnung bewirkte Reibung der Ketten auf der Unterlage dadurch beseitigen, daſs man sie über Rollen oder Sectoren gehen läſst, deren Axen auf dem Gemäuer liegen. Die Kleinheit des Winkels, welchen in dem angenommenen Falle die Spannketten mit dem Boden bilden, setzt ihren Befestigungspunct weiter landeinwärts, und macht es möglich, sie nicht durch die bloſse *Beschwerung* mit einer groſsen Steinmasse zu sichern, sondern ihrer Verrückung auch den unermeſslichen Widerstand entgegen zu setzen, welchen die Unverschieblichkeit und Incompressibilität einer auch nur mäſsigen Erdmasse (z. B. beim Ankern der Schiffe oder bei der Befestigung der Erdwinden) leistet. In

Digitized by Google

dieser Beziehung ist die von Brunel bei der Brücke auf Bourbon und die von Telford bei der Bangor- oder Menai-Brücke gewählte Anordnung, bei welcher die Ketten mit ihren Scheitelpuncten die Ufer berühren, des horizontalen Zuges wegen besonders vortheilhaft, indem dadurch bei einiger Hineinführung der Ketten ins Ufer die Erbauung der kostbaren Widerlager groſsentheils beseitigt wird. Eben dieses läſst sich auch dadurch erreichen, daſs man die Ketten *unter* dem Fahrwege aufhängt, und diesen auf jene hinstellt. Hierbei wird jedoch Fig. 5.
durch die bedeutende Dicke, welche den verticalen Tragstangen gegeben werden muſs, das Gewicht beträchtlich vermehrt; die tiefhängende Kette versperrt die Fahrt, und die Brücke dürfte bei starkem Winde nachtheiligen lateralen Pendelschwingungen ausgesetzt seyn.

Das *beste Material* für die Construction dar Hängebrücken bleibt immerhin das geschmiedete Eisen: seine Stärke muſs jedoch bei jedem Baue durch eine besondere Vorrichtung geprüft werden [1], und man ist übereingekommen, die Belastung desselben nur auf ein Drittel der Kraft gehen zu lassen, welche erforderlich ist, dasselbe zu zerreiſsen, indem bei dieser Anspannung das Eisen seine vollkommene Elasticität behält, und die Anordnung seiner innern Theile noch nicht verändert wird [2]. Die Erfahrung an den Chinesischen Kettenbrücken, und an andern frei aufgehängten eisernen Ketten, leisten hinreichende Beweise für die Dauerhaftigkeit dieses Stoffes, wenn er nicht mit oxydirenden Substanzen, oder etwa mit Metallen, die einen galvanischen Proceſs in demselben hervorrufen, in Verbindung kommt, ein Umstand, der besonders beim Befestigen der Eisentheile an die Erde (z. B. bei dem Eingieſsen mit Blei) zu berücksichtigen ist.

Noch scheint es nicht ausgemacht, ob von den beiden Arten von Hängebrücken die eine einen entschiedenen Vorzug vor der andern habe. In England ist, zumal für die gröſseren

---

1 Man sehe hierzu die Apparate von Rennie in den Philos. Trans. f. 1818. (ann. de Chimie Sept. 1818.); die von Dufour u. Mitis in den unten benannten Werken. Vergl. Th. II. S. 137. dieses Wörterbuchs.

2 Sehr viele Angaben über die Stärke des Eisens findet man in Navier's Résumé des leçons données à l'école roy. des ponts et chaussées; Mécanique. T. I. Paris. 1826. 8.

Brücken, die Methode der *Ketten* vorherrschend, indem daselbst nur etwa drei, und zwar nur für Fuſsgänger von Draht gemacht worden sind; und es ist nicht zu leugnen, daſs diese Entschiedenheit von Seite so kenntniſsreicher, alle ihre Einrichtungen so wohl in Beziehung auf Zweckmäſsigkeit als Kostenersparung so wohl ponderirender Mechaniker hierin von groſsem Gewichte ist. Dagegen haben die Gebrüder Séguin in Frankreich den Thatbeweis geleistet, daſs man auch solide fahrbare *Drahtbrücken* bauen könne, und eben dieses wird auch durch ähnliche Constructionen in St. Petersburg dargethan. Die Sache kann unter verschiedenen Gesichtspuncten betrachtet werden, deren gegenseitige Abwägung zum Theil durch örtliche Verhältnisse bestimmt werden kann: 1. „Von Seite der *Stärke und Dauerhaftigkeit;* 2. in Beziehung *auf leichte Verſertigung oder Ausbesserung*, und 3. in Rücksicht auf *Wohlſeilheit.*" In Betreff der *Stärke* zeigen die Versuche von Séguin und die von Dufour, daſs gezogener unausgeglühter Draht verhältniſsmäſsig bedeutend stärker ist, als Stangeneisen, und daſs diese Stärke bei feinerem Drahte zunimmt. Auch haben nach Dufour's Erfahrung, die aus vielen Drähten zusammengesetzten Taue eben so viel Stärke, als die Summe der einzelnen Drähte ausmacht [1]. Gegen die Oxydation werden dieselben durch fleiſsiges Bedecken mit Firniſs hinreichend geschützt. Vielleicht dürfte in der Folge die von dem Genfer Künstler Darier mit Erfolg versuchte Ueberzinnung der Taue, und nachherige Glättung durch den Drahtzug eine vollständige Sicherung gewähren. Das Unbequemste wäre wohl die Steifigkeit solcher Taue bei verstärktem Durchmesser. Daſs in denselben einzelne Drähte unbemerkt reiſsen sollten, ist nicht zu befürchten, wenn man sie, wie Dufour that, vor der Vereinigung einzeln einer doppelt so groſsen Anspannung aussetzen würde, als ihre spätere Tragkraft erheischt. Die Leichtigkeit mit welcher sol-

---

1 In Cordiers Ponts et Chaussées wird von einem Englischen Ingenieur Samuel Ware die Stärke des Eisendrahtes von $\frac{1}{2}$ Zoll Dikke derjenigen des Stangeneisens gleich gesetzt, und die Stärke eines Drahttaues zu der Summe der Kraft seiner einzelnen Drähte wie 40 zu 65 angenommen; doch ohne nähere Angaben. Séguin hat durch directen Versuch nur $\frac{1}{143}$ Unterschied zum Nachtheil des Drahtseiles gefunden.

che Drahtseile verfertigt werden können [1], die bedeutende Länge von 60 bis 100 Fuſs, die man auf einmal erhält, der Umstand, daſs Alles kalt bearbeitet werden kann, ist entschieden zu ihren Gunsten; da hingegen bei den Ketten die Enden der Stangen geschmiedet, gebohrt, zur bestimmten Länge ausgestreckt, in genaue Gelenke gepaſst, und mit gedrehten Bolzen verschraubt werden müssen. Bei diesen ist jedoch die Befestigung der verticalen Tragstangen sicherer und leichter, als bei den Drahtsäulen, wo sie nur durch einen das Seil umgebenden Wulst von Draht in ihrer Stelle gehalten werden. Wenn überdem nach Dufour's und Seguin's nicht zu bezweifelnden Angaben die Stärke des Drahtes zu derjenigen des Stangeneisens sich nahe wie 3 zu 2 verhält (indem ein Quadrat-Millimeter des erstern bei 63, des letztern bei 42 Kilogrammen zerreiſst), so ist auch die *Wohlfeilheit*, sowohl in Beziehung auf das Quantum des Materials, als auf den Arbeitslohn ganz auf Seite der Drahtseile. Dagegen ist nicht zu leugnen, daſs bei gehöriger Einrichtung auch die Verfertigung von Ketten, wegen der Gleichheit ihrer einzelnen Bestandtheile ziemlich geschwind von statten gehen kann, daſs man ihre Gröſse jedem auch noch so hohen Bedürfnisse anpassen kann (ein Umstand, der bei den Drahtseilen doch gewisse Grenzen finden dürfte), daſs man zu keiner Zeit etwa von verborgenen Fehlern zu befürchten hat, und daſs bei eintretenden Reparaturen jedes einzelne Glied leicht herausgenommen werden kann, während dem die Beschädigung eines Seiles mehr Kosten und Mühe verursacht. Nur ist bei diesem System *sehr genaue Arbeit* eine wesentliche Bedingung; da hingegen das der Drahtseile eine weniger sorgfältige Ausführung erfordert. Wenn daher das Erstere für alle und jede noch so sehr ins Groſse gehende Unternehmungen dieser Art seinem Zwecke genügen kann, so wird das Letztere bei ungleich geringerm Aufwande dennoch für die gewöhnlichen Fälle der Brücken für Fuſsgänger und leichte Fuhrwerke gute Dienste leisten, und diese Kostenersparung ist hier oft um so wichtiger, als die meisten Unternehmungen dieser Art nur von Privaten, oft auf ein sehr mäſsiges Brückengeld hin gemacht werden müssen.

---

1 Nach Dufour verfertigten drei Arbeiter in 8 Stunden 36 Mètres Drahtseil von 90 Drähten.

Noch ist die Einführung der eisernen Hängebrücken zu neu, um über ihre Tauglichkeit ein entscheidendes Urtheil zu fällen. Die Zeit wird lehren, ob die anscheinende Wohlfeilheit mit ihrer Dauer in einem günstigen Verhältnisse stehe. So wie ihr Princip von dem der steinernen und hölzernen Brücken wesentlich verschieden ist, so muſs es auch ihre Anwendung seyn. Für kürzere und stark befahrene Uebergänge werden die bisherigen Constructionen immer vortheilhafter seyn, und nur, wo diese nicht zureichen, bei allzu kostbaren oder schwierigen Wasserbauten, beim Uebersetzen über breite und tiefe Klüfte und namentlich etwa für Wasserleitungen dürften die Hängewerke ihren überwiegenden Vorzug bewähren[1].

*H.*

## H ä r t e.

*Durities*; Dureté; *Hardness*, *rigidity*.

Die Härte der Körper steht der *Weichheit* entgegen, und bezeichnet also eine relative Eigenschaft derselben, für welche kein absolutes Maſs existirt, indem vielmehr jeder Körper nur

1 Zur Literatur dienen Edinb. philos. Journ. X, XI, XXI. Edinb. Journ. of Science No. V. Bibl. univers. sc. et arts XXI, XXIII, XXX, XXXI. Hauptsächlich Navier Rapport et mémoire sur les ponts suspendus. 1824. 4. avec atlas. Ferner Dupin Voy. dans la gr. Bretagne. Force commerciale av. atlas. Cordier ponts et chaussées. 1828. 8. av. atlas. Ign. von Mitis, die Sophienbrücke in Wien. 1826. 8. Atlas. J. L. Spaeth über d. Tragbarkeit der Union-Kettenbrücke in Dingler's polytech. Journ. XXVII. Description of the iron bridges of suspension over the strait of Menai at Bangor, and over the river Conway in North Wales. 1824. 8. Philos. Trans. f. 1827. Ueber Drahtbrücken insbesondere: Dufour Descr. d'un pont suspendu en fil de fer. 1824. 4. u. nach diesem C. F. W. Berg der Bau der Hängebrücken aus Eisendraht. 1824. 8. Séguin l'ainé: des ponts en fil de fer. Sec. Ed. 1826. 4. Bulletin de la Soc. d'Encourag. No. 248. über die Draht-Kettenbrücken von Delessert zu Cassy u. Larochefoucold zu Liancourt. Zwei schöne Engl. Kupferstiche, die Unionbrücke und die Bangorbrücke darstellend. *J. G. K.* Die Kettenlinie und ihre Anwendung im Allgemeinen, insbes. zum Theil auf Ketten-Hängebrücken. 1826. 8. Beitrag zum Bau der Kettenbrücken, welche in der Mitte mit einem beweglichen Brückentheile zu einer Durchfahrt eingerichtet sind. 1826. 4. In dieser Schrift wird das miſsliche System der Radien oder schrägen Suspensorien empfohlen.

Digitized by Google

hart oder weich in Verhältniſs zu irgend einem andern Körper genannt wird. Der specifische Charakter der Härte besteht darin, daſs die Theile der Körper dem Eindringen jedes andern Körpers, der Trennung von einander, oder der Verschiebung aus ihrer Stelle einen groſsen Widerstand entgegensetzen, dagegen selbst in die Theile weicherer Körper einzudringen, sie zu trennen oder zu verschieben vermögen; mit einem Worte: ein Körper ist härter als ein anderer, wenn er diesen ritzt, selbst aber durch diesen nicht ritzbar ist, in welcher Beziehung insbesondere die Mineralogen diese Eigenschaft als Kennzeichen der Fossilien benutzen.

Bleiben wir zuvörderst bloſs bei den Thatsachen stehen, so sind einige Körper allezeit härter als andere, so daſs ihnen diese Eigenschaft ohne Widerrede zukommend beigelegt werden muſs. So ist das Eisen härter als Blei, die kieselerdehaltigen Steine sind meistens härter als die kalkerdehaltigen, die unorganischen härter als die organischen. Inzwischen gehen die nämlichen Körper unter verschiedenen Bedingungen vielfältig in den Zustand gröſserer Härte über, und dieses zuweilen in einem wahrhaft unglaublichen Grade. Bei organischen Substanzen geschieht dieses meistens durch gröſsere Näherung der Elemente und Entfernung der sie trennenden Flüssigkeiten; so erhärtet der Pflanzensaft zur harten Holzfaser, das Firniſs, das im heiſsen Wasser gelösete Stärkemehl, der thierische Leim u. s. w. gehen durch Austrocknung in den Zustand bedeutender Härte über, und ein ähnliches Verhalten zeigt sich bei der Bildung der Knochen, der Nägel, Klauen, Hörner und insbesondere der Zähne, deren Schmelz einen der härtesten, zuweilen fast dem Angriffe einer Feile widerstehenden und durch Eisen nicht ritzbaren Körper darbietet. Verschiedene unorganische Körper werden härter, wenn ihre Theile einander näher gebracht oder sie dichter werden, und ohne Zweifel ist dieses bei allen der Fall, wozu bei einigen noch die Entfernung der Feuchtigkeit eine bedeutende Vermehrung der Härte herbeiführt. Letzteres ist insbesondere der Fall bei dem weichen Thone, welcher durch Austrocknen und Brennen zu dem oft ausnehmend harten Porzellane wird. Mehrere Metalle werden härter durch Hämmern, Walzen u. dgl., z. B. Silber, Messing, Kupfer und Eisen, gehen aber durch Glühen und langsames Erkalten wieder in den Zustand gröſserer Weichheit über. Bei Eisen und Stahl

Digitized by Google

besteht ein gewöhnliches Mittel des Härtens darin, daſs man dieselben erhitzt und dann schnell abkühlt, wobei indeſs das Eisen nur auf der Oberfläche bedeutend härter, im Ganzen aber spröder wird, der Stahl aber durchaus einen der Differenz zwischen der anfänglichen Hitze und der plötzlich erzeugten Abkühlung proportionalen Grad der Härte annimmt. Insgemein geschieht das Härten dadurch, daſs er bis zum Dunkelrothglühen erhitzt und dann schnell in kaltes Wasser getaucht wird; ist aber der Stahl an sich schon von einer harten Sorte (indem es in dieser Hinsicht sehr verschiedene Arten giebt), so wird er zugleich ausnehmend spröde, mithin wegen seiner Zerbrechlichkeit für den technischen Gebrauch minder geeignet, und man muſs die aus ihm verfertigten Werkzeuge daher wieder anlassen, d. h. allmälig bis zu einem geringeren oder gröſseren Grade der Wärme erhitzen, welcher durch die auf seiner Oberfläche erscheinende Farbe bestimmt wird. Der geringste Grad des Anlassens, wobei Härte und Sprödigkeit nur wenig gemildert werden, geht bis zur hell-strohgelben Farbe, ein weiterer dann zur dunkelgelben, zur karmesinrothen, violetten, dunkelblauen und grau-schwarzen, bei welcher fast alle Härtung wieder aufgehoben ist. Diese Farben der Oberfläche sind Folgen einer anfangenden oder weiter fortgesetzten Oxydirung einer verschwindend dünnen Metallschicht[1]. In manchen Fällen giebt man dem Stahle die zum Federn erforderliche Härte, indem man ihn bis nahe zum Glühen erhitzt und dann in Oel taucht oder ihn mit Unschlitt bestreicht (das sogenannte Abbrennen), welches sich anfangs entzündet, im Ganzen aber eine langsamere Abkühlung bewirkt, als das Eintauchen in Wasser, weil Oel und Unschlitt eine geringere Wärmecapacität haben als Wasser, und durch den heiſsen Stahl auf eine höhere Temperatur gebracht werden, als dieses beim Wasser möglich ist, welches noch obendrein durch die Dampfbildung eine unglaubliche Wärme plötzlich entzieht und dadurch eine sehr schnelle Abkühlung bewirkt. Hierzu kommt noch, daſs das Fett die Oberfläche des Stahles gegen eine weitere Verbrennung schützt und die Trennung des Kohlenstoffs von derselben verhütet, somit also die Verwandlung des Stahls in Eisen hindert. Auf gleiche

1 Vergl. *Eiſen* Th. III. S. 161. Fusinieri in Brugnatelli Giorn. Dec. II. II. 145. Davy in Gilb. Ann. LI. 206.

Weise pflegen die Künstler, z. B. die Uhrmacher und Mechaniker, die Spitzen der feinen Bohrer auf eine solche Weise zu härten, daſs sie mit einem Löthrohre die Lichtflamme dagegen blasen, sie dadurch glühend machen und dann schnell in das Unschlitt des Lichtes oder das Oel der Lampe tauchen. Nach einer mündlichen Mittheilung des Dr. Eimbke in Hamburg pflegt der bekannte Mechaniker Repsold den Spitzen der Bohrer eine auſserordentliche Härte dadurch zu geben, daſs er sie in Quecksilber ablöscht [1].

Die Härte der Körper wird ferner bedingt durch ihre Verbindung mit andern Körpern, wobei jedoch so viele Abweichungen von einer allgemeinen Regel stattfinden, daſs man eine solche kaum oder überall nicht aufzustellen vermag. Am natürlichsten und einfachsten würde es seyn, wenn die Härte zweier verbundener Substanzen das arithmetische Mittel derjenigen der einzelnen wäre, und so ist es auch ziemlich genau bei den Verbindungen des Goldes mit Silber und Kupfer, des Zinns mit Blei; allein diesem gänzlich widersprechend ist es, daſs das zähe und mäſsig harte Kupfer mit dem härteren Zink verbunden das sehr weiche Messing und mit dem weichen Zinn vereinigt nach dem Verhältniſs der Mischung, z. B. 5 zu 1 das harte Glockengut und 2 zu 1 das noch ungleich härtere Spiegelmetall liefert. Das Eisen wird durch einen Zusatz von 0,01 Kohlenstoff zum harten Stahl und von 0,02 bis 0,04 derselben Substanz zum noch härteren Guſseisen, indem letzteres zwar nicht eigentlich gehärtet, aber rasch gekühlt, von den besten englischen Feilen nicht angegriffen wird. Dieses Verhalten ist übrigens aus der groſsen Härte des reinen Kohlenstoffs in Diamant leichter erklärbar, als daſs das Eisen durch einen unbedeutenden Zusatz von Alumium und Silicium, desgleichen von Chrom, Silber, Platin u. s. w. merklich härter, ja sogar mit

---

1 Die mancherlei Arten des Verfahrens beim Härten des Stahls findet man in den Werken über die Bereitung desselben. Zur gleichmäſsigen Verbreitung der Wärme schlägt Nicholson vor, ihn auf einer erhitzten Bleimasse schwimmend bis zur erforderlichen Temperatur zu erhitzen. Vergl. Lydiatt. in Nichols. Journ. of Nat. Phil. 1814. N. 156. G. LI. 293. Encyclop. meth. Art. Acier. T. I. p. 436. Praktische Anweisung zum Härten des Stahls von Prechtl findet man im Jahrb. des polyt. Instit. I. 194.

Schwefel verbunden im Schwefelkies so hart wird, daſs letzterer zum Feuerschlagen mit Stahl geeignet ist.

Ein mit der Härte der verschiedenen Körper nahe verwandtes Phänomen wurde vor einigen Jahren zufällig entdeckt und irt seitdem vielfältig besprochen. Man setzt nämlich mit Grunde voraus, daſs der härtere Körper den weicheren schneidet, ritzt oder zerstört, wie dieses auch in der Regel der Fall ist. Als Ausnahme von dieser Regel sind einige früher bekannte Thatsachen zu betrachten, daſs nämlich beim Schleifen scheinbar weichere Körper von den härteren allmälig Partikelchen wegreiſsen, wie z. B. in den Cylinderuhren die weicheren Zähne des Rades in den stark gehärteten Cylinder einschneiden und das Leder eines Streichriemens Stahlpartikelchen von den Rasirmessern abzureiſsen pflegt. Allein dieses geschieht nur dann, wenn von den Schleif- und Polir-Mitteln kleine Theilchen zurückgeblieben sind oder die Staub-Partikelchen dergleichen darbieten, welche wegen gröſserer Zähigkeit und Weichheit sich in die minder harten Körper eindrücken, dort zurückgehalten werden, hierdurch als Schleifmittel dienen, neue Theilchen losreiſsen, und durch diese dann vermehrt die härteren Körper angreifen. Hiernach also kann den weicheren Theilen nicht selbst und unmittelbar die Fähigkeit des Einschneidens in härtere beigelegt werden. Dennoch aber ist ein solches allerdings unter geeigneten Bedingungen sehr wohl möglich. Barnes und Perkins nämlich wollten eine schnell um ihre Axe laufende Scheibe von weichem Eisen mit einer Feile etwas kleiner machen, und fanden zur ihrer groſsen Verwunderung, daſs die Scheibe ganz unversehrt blieb, die Feile dagegen angegriffen wurde. Es ergab sich bald, daſs die nächste Ursache hiervon in der schnellen Bewegung der Scheibe zu suchen sey, und als sie diese noch vermehrten, wurde die Feile unter Funkensprühen gänzlich durchschnitten, die Scheibe aber nicht kleiner und bloſs an ihrem Rande bedeutend härter [1]. Die Sache machte Aufsehen, und wurde zuerst daraus erklärt, daſs die schnelle Bewegung der Scheibe den Stahl der Feile sehr heiſs mache, während sie selbst bei dem steten Wechsel neuer Berührungspuncte kalt bleibe, und auf diese Weise selbst härter als die sehr erhitzte Stelle der Feile diese zu schneiden in den Stand

1 Journal of Science cet. XVI. 155.

Digitized by Google

gesetzt werde [1]. Seitdem ist die Erscheinung selbst so oft wiederholt beobachtet, daſs es ganz überflüssig seyn würde, die übereinstimmenden Resultate der zahlreichen Beobachtungen insgesammt namhaft zu machen. Unter die genaueren gehören die durch Darier und Colladon angestellten. Sie nahmen harte Grabstichel uud eine Scheibe von ganz weichem Eisen. So lange dann der Rand der Scheibe am Grabstichel mit einer geringeren Geschwindigkeit als 34,5 Fuſs in einer Secunde bewegt wurde, griff der Grabstichel das Eisen an, hörte aber auf, das Eisen zu schneiden, sobald die Bewegung über diese Grenze hinaus schneller wurde; erreichte sie 70 F. in einer Secunde, so schnitt die Scheibe in den Grabstichel ein, und zwar mit einer von hier an der zunehmenden Geschwindigkeit proportionalen Wirkung. Daſs die Erweichung des harten Stahls durch die Hitze der Reibung die Ursache hiervon nicht seyn könne, ging daraus klar hervor, daſs bei gehöriger Geschwindigkeit der Scheibe die Wirkung im ersten Momente der Berührung eintrat, und bei absichtlich weich gemachten Grabsticheln geringer war. Aus den am Rande der Scheibe sich ansetzenden Stahlpartikeln ist die Erscheinung gleichfalls nicht erklärlich, denn diese findet man erst später und ihre Menge ist sehr unbedeutend. In Gemäſsheit der gesammten Versuche sind diese Experimentatoren daher geneigt anzunehmen, daſs der Stahl durch das schnellbewegte Eisen zerschlagen und fortgerissen wird, ehe er Zeit hat, in dasselbe einzudringen. Mit einer Geschwindigkeit von 130 bis 200 F. in einer Secunde lieſs sich auch Quarz, Achat u. s. w. etwas schneiden. Eine Uhrfeder mit der scharfen Kante der Scheibe genähert wird augenblicklich eingeschnitten, mit der flachen Seite die Scheibe berührend wird sie glühend. Eine Scheibe aus einer Mischung von Zinn und Kupfer brachte bloſs ein Zittern in den genäherten Körpern hervor, ein Rad von Kupfer wurde auch bei einer Geschwindigkeit von mehr als 200 F. Geschwindigkeit stets von den Grabsticheln angegriffen, schnitt dagegen andere Körper, welche härter als Kupfer und weicher als Stahl waren. Als eine Merkwürdigkeit wurde noch beobachtet, daſs die Kupferscheibe mit Stahl keine Wärme gab [2].

---

1 So erklärten die Herausgeber der Ann. de Chim. et de Phys. XXIV. 233.

2 Bibl. univ. XXV. 281.

Es scheint mir im mindesten nicht zweifelhaft, daſs die hier gegebene Erklärung die richtige des Phänomens sey. Um sie deutlicher vorzustellen, wollen wir uns die schnell bewegte Scheibe denken, von welcher ein Theilchen des Randes durch ein Theilchen des Grabstichels getroffen wird. Letzteres würde in diesem Falle das erstere abreiſsen oder zur Seite schieben; allein ehe dieses geschieht, tritt schon ein anderes an dessen Stelle, und wenn daher die Kraft des Stahltheilchens geringer ist als diejenige, welche die Summe der mit ihm in Berührung kommenden Theilchen des Eisens in der zum Abreiſsen erforderlichen Zeit gegen dasselbe ausübt, so muſs es nothwendig selbst fortgerissen oder von der übrigen Masse getrennt werden. Das Phänomen hat also einige Aehnlichkeit damit, daſs das Quecksilber, so leicht es auch sonst jedem Eindrucke eines festen Körpers nachgiebt, mit so auſserordentlicher Gewalt gegen das verschlossene Ende einer luftleeren Röhre schlägt, und diese wenn auch vom dicksten Glase, so leicht zerschellt, mit den Erscheinungen des Wasserhammers und dem bekannten Versuche, daſs man ein Unschlittlicht durch ein tannenes Brett zu schieſsen vermag. Das vorher angenommene Eisentheilchen im Rande der Scheibe bewegt sich nämlich mit einem gewissen Momente der Kraft gegen das Stahltheilchen; welches eine Function seiner Masse und Geschwindigkeit ist, und wenn daher dieses Kraftmoment in Verbindung mit der Cohäsion, mit welcher es mit der Masse des Eisens zusammenhängt, gröſser ist als die Cohäsion des unbewegten Stahltheilchens, so muſs letzteres abgerissen werden. Eine unmittelbare Folgerung aus diesen Versuchen ist übrigens, daſs harte Körper sich am besten durch noch härtere schneiden, reiſsen, stechen und überhaupt bearbeiten lassen, je langsamer sie bewegt werden; daſs dagegen die schneidenden, reiſsenden und überhaupt zerstörenden Körper um so stärker angreifen und so viel wirksamer seyn müssen, je schneller sie bewegt werden. Letzteres ist in der Praxis beim Bohren, Feilen, insbesondere dem Schleifen u. s. w. wichtig, ersteres beim Abdrehen eiserner, guſseiserner und hauptsächlich stählerner Sachen sehr zu berücksichtigen. Geübte Künstler wuſsten dieses unlängst aus eigener Erfahrung, sind aber durch diese interessante Beobachtung aufmerksamer darauf geworden, und wenden die Regel häufiger an, ohne sie, wie früher, gegenwärtig noch unbeachtet zu lassen. So hat namentlich Per-

KINS schon das härteste Guſseisen mit stählernen Werkzeugen abgedreht, indem er ihm eine sehr langsame Bewegung von etwa 6 F. in einer Secunde gab [1], und auch diese Geschwindigkeit lieſse sich unter Umständen noch wohl vermindern.

Die Aufstellung einer Tabelle, um die verschiedenen Körper nach dem Grade ihrer Härte in eine Reihenfolge zu ordnen, scheint mir für ihren Zweck zu viel Raum zu erfordern, da dieser kaum ein anderer als ein technischer seyn könnte; in der Mineralogie, worin diese Eigenschaft als Kennzeichen der Körper gilt, findet man dieselbe ohnehin überall angezeigt. Unentbehrlich ist dagegen, die Sache aus dem physikalischen Gesichtspuncte betrachtet, eine Untersuchung über die eigentliche Ursache dieser bei den verschiedenen Körpern so ungleichen Beschaffenheit, obgleich sich schon der Analogie nach voraussehen läſst, daſs ein Versuch dieser Art schwerlich zu einem befriedigenden Resultate führen wird. Die Begriffe der Alten hierüber waren ihrer übrigen Naturkenntniſs ganz angemessen. Nach ARISTOTELES war die Härte eine secundäre Qualität, weil sie als Folge der Trockenheit einer primären Qualität erschien, nach EPIKUR und seinen Anhängern folgte sie aus der Härte der Atome, nach CARTESIUS aus der Ruhe der Theile, und stand in sofern der Flüssigkeit entgegen, welche er mit mehrern andern aus der Bewegung derselben ableitete. NEWTON hat mehrmals den Satz ausgesprochen, dass er die Atome der Körper für absolut hart halte, und diese Eigenschaft liegt auch so nothwendig im Wesen der Atome, wie man sich dieselben vorstellen muſs, daſs jener groſse Denker weniger consequent hätte schlieſsen müssen, als man dieses an ihm gewohnt ist, wenn er anders hätte urtheilen wollen [2]; allein aus der Härte der Atome kann niemand mit irgend einem Grunde die Härte der Körper ableiten, weil ja alle Atome, auch die der weichen und flüssigen Körper, ihrer Natur nach hart seyn müssen. Dagegen führt NEWTON die Härte auf die Stärke der Cohäsion zurück, insofern diejenigen Körper die härtesten seyn sollen, deren Atome sich mit den gröſsten Flächen berühren, und eben deswegen bei gleicher

---

1 Gill's Technic. Reposit. 1825. Oct. p. 247.

2 Joh. Bernoulli spricht aus metaphysichen Gründen den Atomen die Härte ab, S. Opp. III, Nro. 135. ch. 1., als ob ein Atom im strengen Sinne des Wortes ohne absolute Härte denkbar seyn könnte.

Digitized by Google

Stärke der Cohäsion minder leicht trennbar sind. Inzwischen ist die Sache zu schwierig, als daſs diese Erklärung genügen sollte, und sie läſst sich den vorhandenen Thatsachen nach überhaupt nicht auf ein solches allgemeines Princip zurückführen. Zu einer allgemeinen Erklärung reicht die Annahme späterer Naturphilosophen von einer gröſseren oder geringern Menge des in den Körpern vorhandenen und gebundenen Elementarfeuers gleichfalls nicht hin, wenn man hierunter die bekannte Wärme, nicht etwa ein gewisses unbekanntes Princip verstehen will, und eben so wenig der Conflict der einander entgegen wirkenden Dehnkraft und Ziehkraft, wie sich aus den folgenden Betrachtungen von selbst ergeben wird.

Zuvörderst sind Härte und Cohäsion keineswegs identisch, wie nach der zuletzt angegebenen Theorie folgen würde. Der Diamant ist der härteste unter allen Körpern, und dennoch lassen sich, ohne daſs hierüber directe Versuche vorliegen, seine Blätter muthmaſslich leichter trennen, als die Theile des Stahls, welcher von ihm geritzt wird; Guſseisen ist härter als Schmiedeeisen bei geringerer Cohäsion, ein gleiches Verhältniſs findet statt bei Zink und Kupfer, ja der härteste Stahl zeigt geringere Cohäsion, als der angelassene u. dgl. m. Die Härte ist ferner dem specifischen Gewichte, also der gröſsern Nähe der Atome keineswegs proportional, wie schon aus der Vergleichung von Quecksilber und Blei mit Eisen und Kupfer genügend hervorgeht, ja sogar ein Stahlstab wird nach FORTIN [1] länger, wenn man ihn härtet, und also specifisch leichter; aber eben so wenig findet ein umgekehrtes Verhältniſs statt, denn Zinn z. B. ist leichter als Kupfer und auch weicher, wie auf gleiche Weise das Kalium u. s. w. Eben so wenig ist Härte der specifischen Wärmecapacität direct proportional, wie schon aus der Vergleichung von Wasser und allen Metallen, noch ist sie derselben umgekehrt proportional, wie aus der des Eisens und Bleies folgt. Endlich findet ein solches constantes Verhältniſs auch rücksichtlich der Schmelzbarkeit nicht statt, denn Blei und Platin sind beide weicher als Eisen, und davon ist das erste weit leichter, das zweite schwerer schmelzbar als das letzte. Wollte man sich die Mühe geben, auf gleiche Weise das elektrische Ver-

1 S. G. G. Schmidt Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Gieſs. 1826. S. 34.

halten der verschiedenen Körper, ihren Glanz, ihre Verwandtschaft zum Sauerstoff u. s. w. zu betrachten, so würde man nur noch um so gewisser zu der Ueberzeugung gelangen, daſs die Härte mit keiner dieser übrigen Qualitäten in einem nothwendigen Zusammenhange steht; und daher auch daraus nicht erklärt werden kann. In einigen Fällen ist die gröſsere Härte allerdings eine Folge der einen oder der andern zu den Körpern hinzukommenden Substanz, allein, daſs sie allgemein durch irgend einen bestimmten Stoff erzeugt werden sollte, wie etwa nach früherer Vorstellung durch das Phlogiston, daran wird jetzt niemand ernstlich denken, und auſserdem werden auch die nämlichen Körper ohne das Hinzukommen eines solchen unbekannten Etwas bald mehr bald minder hart, z. B. durch Hämmern oder Ablöschen, im letzteren Falle auch dann, wenn sie mit einem Cement dicht umgeben und gegen den Zutritt eines Körpers von Auſsen gesichert sind.

Im Allgemeinen läſst sich daher nur so viel bestimmt angeben. Gröſsere Härte ist wohl in allen Fällen mit gröſserer Sprödigkeit verbunden, ohne daſs eine Raumverminderung diese begleitet, und daher von dieser Seite betrachtet, eine gröſsere Annäherung der Theile anzunehmen ist. Von der andern Seite aber hebt die vermehrte Wärme die Härte in der Regel auf, und macht die meisten Körper mit Vermehrung ihres Volumens nicht bloſs weich, sondern selbst flüssig, so daſs also eine gewisse Nähe der Theile nothwendige Bedingung der Härte wie der Cohäsion seyn muſs, wobei noch zu berücksichtigen ist, daſs viele Körper durch Hämmern, Pressen und Zusammendrükken härter werden. Nimmt man hinzu, daſs einige Körper, namentlich Glas, Eisen, Stahl, u. s. w. durch plötzliches Abkühlen bedeutend härter und spröder werden, dann aber zugleich eine eigenthümliche Anordnung ihrer Theile zeigen, welches beides durch abermaliges Erhitzen und allmäliges Erkalten wieder aufgehoben wird. so müssen wir nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen annehmen, daſs die Härte ihrem Wesen nach mit der Cohäsion zusammenfällt, und sich also auf eine innigere Berührung der Elemente zurückführen läſst, zugleich aber durch die gleichzeitig entstehende Sprödigkeit limitirt wird, vermöge welcher die in einer gewissen Lage vereinigten Theile keine Verrückung zulassen, ohne getrennt zu werden. Es lassen sich sonach auch diese Erscheinungen füglich mit der Cor-

Digitized by Google

pusculartheorie vereinigen, und kann hiergegen kein Einwurf daraus hergenommen werden, daſs einige Metalle, namentlich das zur Verfertigung des *Gong-Gong* dienende[1], wie überhaupt das Kupfer und die Mischungen desselben, durch plötzliches Abkühlen nicht härter werden, sondern vielmehr weicher als durch langsames Erkalten; denn es darf nicht vorausgesetzt werden, daſs die erhitzten Körper in diesem Zustande gröſserer Ausdehnung gerade eine solche Lage ihrer Theile annehmen, aus welcher durch plötzliches Festwerden eine überwiegende Stärke des Zusammmenhanges hervorgehen müſste, vielmehr kann unter Umständen gerade das Gegentheil statt finden. Diese immerhin noch mangelhafte Erklärung muſs also bis dahin genügen, daſs es uns vielleicht gelingt, tiefer in die Kenntniſs des eigentlichen Wesens der Materie einzudringen.

*M.*

# Hagel.

Steine, Kiese, Schloſsen; *Grando;* Grêle, glaçons; *Hail*, *Hailstones;* nennt man die Eiskörper, welche sehr häufig statt des Regens ungleich an Gröſse und Menge vom Himmel herabfallen, wobei man dann zu sagen pflegt: es *hagelt*, *schloſset*, *kieset* und auch wohl es *steinet*. Das ganze oft sehr groſsartige, mitunter unglaublich verheerende, allezeit mit Furcht erfüllende Phänomen des Hagelns muſs zwar aus dem Standpuncte des Physikers betrachtet, sehr interessant seyn, bietet aber zugleich der Schwierigkeiten noch viele dar, und ist bis jetzt keineswegs vollständig erklärt. Zur deutlichen Uebersicht werde ich daher zuerst das Geschichtliche zusammenstellen und dann die Erklärung nachfolgen lassen.

## A. Beschaffenheit des Hagels.

1. Eine kenntlich verschiedene Species des Hagels bilden die sogenannten Graupeln (*grando minutissima;* grésil), der Regel nach vollkommen runde, nur selten durch einzelne Hervorragungen von der runden Gestalt abweichende Körner von

1 S. Art. *Gong-Gong*.

der Gröſse eines Hirsekornes (0,3 Lin. Durchmesser) bis zu der einer starken Erbse (2 bis 2,5 Lin. Durchmesser). Sie sind allezeit undurchsichtig, mehr oder minder der Weiſse des Schnees sich nähernd, und in den kleinsten Körnern sie erreichend; die gröſsten dagegen nähern sich der Beschaffenheit des Hagels, indem sie einen dünnen Ueberzug von Eis annehmen. Sie scheinen im Ganzen aus einer Menge kleiner Eisnadeln oder aus feinen Schneetheilchen zusammengefügt zu seyn, und zeigen sich daher ungleich hart, indem einige Körner leicht zerreiblich sind, andere dagegen die Härte des Eises fast erreichen. Die kleinsten Körper sind am genauesten kugelförmig, die gröſsern weichen am meisten von dieser Gestalt ab.

2. Der eigentliche Hagel besteht aus verschieden gestalteten meistens rundlichen oder noch mehr paraboloidischen[1] Körpern von der Gröſse einer kleinen Erbse bis einer welschen Nuſs, welche in der Mitte einen den Graupeln ähnlichen Kern von 0,5 bis 1 oder gar 2 Lin. Durchmesser haben[2], nach Auſsen aber durchsichtiges in der Regel wenig blasiges, häufig opakes, fast milchig scheinendes Eis als zusammenhängende Masse, nur selten als concentrische Kringe. Vollkommen rund werden die Hagelkörner selten gefunden, sondern sie haben meistens hier und da Hervorragungen, Eindrücke, zuweilen Blasen u. s. w.[3], auch folgt dieses schon daraus, weil man sie im Fallen nicht füglich auffangen kann, auf dem Boden oder in der Hand aber sogleich eine partielle Schmelzung derselben eintritt. Volta[4] meint, die Hagelkörner seyen niemals rund, sondern zuweilen zusammengedrückt sphäroidisch, zuweilen an einer Seite coupirt und halbkugelartig, zuweilen linsenförmig und mit Facetten, seltener mit Erhabenheiten als Folgen der Vereinigung mehrerer Körner, am häufigsten mit Zusammendrückungen und Vertiefungen durch das Aneinanderstoſsen, durch partielle Schmelzungen oder Vereinigung mit Regentropfen während ihres Falles. Ich selbst habe auſser mehrern kleinern drei groſse und darunter eins der furchtbarsten Hagelwetter erlebt, die in den Annalen der Meteorologie vorkommen, habe dann gleich unter-

---

1 S. Encyclop. Method. Part. Phys. III, 403.

2 Saussüre Voy. §. 2075.

3 Musschenbroek Int. II. 117. §. 2394.

4 Journ. de Phys. LXIX. 286. 333.

sucht, und gefunden, daſs in allen unversehrten Körnern der weiſse Kern vorhanden war, indem ich diejenigen, worin dieser sich als Seltenheit nicht fand für zerschlagene und durch Schmelzung abgerundete Eisstücke zu halten geneigt bin. Die gewöhnlichste Form scheint mir die kugelrunde, denn diese hatten alle die anfänglich fallenden kleineren, und die von mir gleich im Fallen genau beobachteten, z. B. diejenigen, welche durch die zerschlagenen Scheiben der Fenster in die Zimmer flogen; indeſs giebt es der Ursachen so viele, welche eine Abweichung von dieser Gestalt erzeugen können, z. B. das Schlagen gegen einander und gegen harte Körper, partielles Wegschmelzen u. s. w. daſs bei weitem die Mehrzahl nicht völlig kugelrund ist. Eben so scheint mir der gröſste Durchmesser eines reinen Hagelkorns in mittleren Breiten nicht über 1,5 bis höchstens 1,75 Par. Zoll zu gehen, obgleich es bei weitem gröſsere giebt, welche aber zwei, drei und mehrere Kerne haben, und also als zusammengesetzte anzusehen sind, bei denen eben diese Zusammensetzung meistens auch die äuſsere Gestalt bedingt. Musschenbroek, Volta u. a. sind gleichfalls der Meinung, daſs die gröſsern Hagelkörner durch Vereinigung gebildet werden, und Delcros[1] hält die runde Gestalt und die Anwesenheit eines weiſslichen Kernes nach einer Menge von Beobachtungen für dasjenige, was die Erfahrung in den meisten Fällen als Regel darbietet. Unter die sehr seltenen Ausnahmen gehört das Fallen kleiner runder Körner durchsichtigen Eises, welche ohne Zweifel aus gefrornen Regentropfen entstanden sind[2].

3. Beispiele von gröſserem und ungewöhnlich groſsen Hagelkörnern gehören nicht eben unter die Seltenheiten, wenn gleich nur einige wenige Fälle das ganz ungewöhnliche nachweisen. Schon Musschenbroek[3] zählt eine Menge Beispiele dieser Art auf und erwähnt zugleich, daſs die älteren Physiker geglaubt hätten, die Hagelwolken beständen aus massivem Eise welches zerbräche und daher in so groſser Menge herabstürzte. Nach Dechales soll 1470 zu Rom Hagel von der Gröſse eines Casuar-Eies gefallen seyn. Auf der Flandrischen Insel Ryſsel fiel 1686 im Mai Hagel, dessen meiste Körner die Gröſse eines

1 Bibl. univ. XIII. 154.

2 Arago in Annuaire présenté au Roi. Pour l'an 1828.

3 Introd. II. 1017. §. 1495.

Taubeneies hatten, allein es wurden auch einige von 0,5 und sogar von 1 ℔ schwer gefunden[1]. Nach Halley fiel am 29. April 1697 zu Flintshire Hagel von 5 Unzen Gewicht, und Rob. Taylor beobachtete am 4. May desselben Jahres in Hartfordshire Hagelkörner, deren Umfang 14 engl. Zoll betrug[2]. Sehr bekannt durch die Beschreibung von Parent[3] ist das groſse Hagelwetter geworden, welches 1702 am 15. Mai die Gegend um Iliers verwüstete. Die kleinsten Körner waren zwei Daumen dick, die mittleren wie Hühnereier, die gröſsten wie eine geballete Faust, und wogen ½ ℔., welche letztere Angabe indeſs schwerlich als ganz genau betrachtet werden kann, insofern die genannte Gröſse das angegebene Gewicht nicht erreicht. Im Jahre 1724 sollen bei Monte-Rotondo Hagelkörner über 1 ℔ schwer gefallen seyn[4], Musschenbroek[5] beobachtete selbst zu Utrecht 1736 ein starkes Hagelwetter, wobei die meisten Körner die Gröſse eines Taubeneies hatten, einige aber, aus mehreren zusammengesetzt, die Gröſse eines Hühnereies erreichten. Am 11. Juli 1753 sammelte Montignot zu Toul polyedrische Hagelstücke von drei Zoll Durchmesser[6]. Unter dem Hagel, welcher 1787 am Comersee fiel, befanden sich Stücke von 9 Unzen an Gewicht. Lampadius[7] fand bei dem schrecklichen Hagelwetter in Beverungen im J. 1792 noch nach 14 Tagen in den Kellern zusammengeflossene Haufen Hagel, und darunter Stücke von 13 Loth schwer, Nöggerath[8] aber 1822 am 7. Mai, als ein furchtbares Gewitter die Gegend um Bonn verwüstete, Hagelkörner von 2; 3; 4; bis 12 Loth an Gewicht. In demselben Jahre waren viele verheerende Hagelwetter, namentlich am 9. Juni in Trient, wobei nach öffentlichen Blättern Hagelkörner von der Gröſse eines italienischen Brodes 8 bis 16 Unzen

1 Phil. Trans. N. 203. p. 858.

2 Arago in Annuaire pour 1829.

3 Hist. de l'Ac. 1703. p. 19.

4 Allgem. Zeit. 1817. Juli.

5 A. a. O.

6 Arago a. a. O.

7 Hannöv. Magaz. 1792. St. 93.

8 Schweigg. J. N. F. VIII, 84. Abbildung des Hagels und Beschreibung des Hagelwetters von demselben findet man in Hesperus u. s. w. 1823. N. 167 und 168, entlehnt aus Nova acta Acad. Car. Leop. nat. cur. T. II. S. 560.

schwer die Dachziegel zerschmetterten. Im Jahre 1802 fiel bei Annaberg Hagel, wovon einzelne Stücke ein Pfund wogen, und bei Buck im Posener Departement von der Gröſse einer geballeten Mannsfaust[1]. Ich selbst im Jahre 1801 in Hannover Hagelkörner von 8 Loth Gewicht in Menge gewogen, allein keins von 16 Loth Gewicht; in Herrenhausen aber fand man in der Dammerde des botanischen Gartens am andern Tage Eindrücke wie durch die Unterschale einer mittlern Caffeetasse gemacht, welche auf Hagelkörner von mehr als 1 ℔ Gewicht deuteten[2].

Bei einem furchtbaren Hagelwetter auf der Orkadischen Insel Stronsa im Jahre 1818 fielen Körner von der Gröſse eines Gänseeies, welche sogar die hölzernen Fensterrahmen zerschlugen, auch eigentliche Stücke Eis von allerlei Gestalten, meistens zwar rund, viele mit Spitzen und so scharfen Kanten, daſs man nicht darüber hingehen konnte, ohne sich die Füſse zu verletzen. Die gröſseren wurden auf ½ und ¼ ℔ geschätzt, und einige waren bis 4 Zoll tief in das Ackerland gedrungen[3]. Nicht minder merkwürdig war ein Hagelwetter, welches einen Theil der englischen Armee auf einem Marsche in der Gegend von St. Sebastian bei Roncevalles 1813 überraschte. Der Hagel fiel mit Sturm ganz ohne Blitz und Donner, und die Körner nahmen nach Stewart's[4] Erzählung zu von der Gröſse einer Bohne bis zu der eines Hühnereies. Sie bestanden aus meist durchsichtigem Eise, waren im Allgemeinen rund und hatten Eiszapfen von der Länge und Dicke, wie die Zacken einer gemeinen silbernen Gabel. Stewart vermuthet hieraus, daſs sie ursprünglich die doppelte Dicke halten, so daſs die Zacken beim Schmelzen stehen geblieben wären, was schwer zu glauben ist.

4. Die hier angegebenen Beispiele lieſsen sich noch um verschiedene vermehren; allein auſser diesen giebt es einige mehr oder minder genau bewahrheitete Erzählungen von Hagelstücken, deren Form und Gröſse Bewunderung erregen muſs. Morton[5] erzählt, daſs in Northampton im Jahre 1693 ebene

---

1 G. XVI. 75.

2 S. Blumhof's Beschreibung in Voigt's Mag. III. 363.

3 Transact of the Royal Soc. of Edinburgh. IX. 187. daraus kürzer in Edinb. Phil. Journ. N. VIII. 365. Noch kürzer bei G. LXVIII. 316.

4 Edinb. Phil. Journ. Nro. XVII. 194.

5 Natural history of Northampton. Chapt. 5. p. 341.

Digitized by Google

Eisstücke von 2 Z. Länge und 1 Z. Dicke gefallen sind, und Kugeln von 1 Z. Durchmesser mit 5 hervorragenden Spitzen; in Herforden in England aber soll 1697 Hagel von 9 Z. Umfang[1] und bei Krems 1719 von 6 ℔ Gewicht gefallen seyn[2]. Einzelne Eisklumpen, welche 1717 bei Namür herabfielen, sollen 8 ℔ gewogen haben, und 1767 bei Potsdam die Gröſse eines Kürbisses gehabt haben, wodurch ein Ochse getödtet und einem Bauer ein Arm abgeschlagen wurde[3]. Crookshank berichtet von einem Gewitter, welches er in Nordamerica erlebte, wobei Hagelkörner von 13 bis 15 Z. Umfang herabfielen, aber aus mehreren kleineren zusammengebacken waren. Im Jahre 1739 fiel bei Würzburg Hagel von 3 ℔ Gewicht[4], im folgenden fielen in Frankreich Eisstücke 2 Z. lang, 1 Z. breit und 0,5 Z. dick[5]; nach Vallace in seiner Beschreibung der Orkadischen Inseln fielen daselbst 1680 bei einem heftigen Gewitter Eisstücke von 1 Fuſs Dicke[6], Posc d'Antic sah am 13. Juli 1786 genau oktaëdrische Hagelkörner[7], Tessier[8] beobachtete selbst das auſserordentlich groſse Hagelwetter von 1788, fand einige Hagelkörner von gewöhnlicher runder Form fast 3 Z. im Durchmesser haltend, und erhielt die genauesten Nachrichten von andern, welche ungewöhnlich gestaltet waren. Dahin gehören die halbkugelförmigen, die mit Hervorragungen wie mit Spitzen versehenen, andere von fast oktaëdrischer Gestalt, noch andere lang und dick wie Eistücke, und endlich solche, welche ästige Stalaktiten vorstellten, in denen an der dicksten Stelle sich ein weiſser Kern befand. Nach genauen Nachrichten wurden einzelne Hagelkörner von 2 Zoll 9 Lin. Länge und 2 Z. Dicke, und sogar eins von 4 Zoll 9 Linien Länge und 2 Zoll Dicke gefunden, und dennoch wog dieses noch kein halbes Pfund. Tessier bemerkt mit Recht, daſs sich nach diesen genauen Bestimmungen die übertriebenen Angaben würdigen lassen, welche

1 Phil. Trans. N. 229. p. 579.
2 Breslauer Saml. 1720.
3 Allgem. Zeit. 1817.
4 Musschenbroek. a. a. O.
5 Hist de l'Ac. 1741. p. 218.
6 Encyclop. meth. Part. Phys. III. 403.
7 Journ. de Phys. 1788. Juli.
8 Mém. de l'Ac. 1790. 263.



Digitized by Google

man anderwärts namentlich bei Richard[1] findet. Wenn ferner Adanson angiebt, daſs er bei dem Hagelwetter zu Paris am 7. Juli 1769 Hagelkörner von der Form eines Meniscus gefunden habe[2], so läſst sich füglich annehmen, daſs dieses Bruchstücke zerschlagener Hagelkörner waren, welche sich nach Art concentrischer Kugelschichten abgelöset hatten. Endlich erzählt auch Peron[3] merkwürdige Sachen von der Beschaffenheit des Hagels auf Neuholland. Er selbst erlebte dort ein furchtbares Hagelwetter, welches aber nicht sowohl durch die Gröſse der Eismassen, als vielmehr durch ihre Menge und Form sich auszeichnete. Statt rundlicher Hagelkörner fielen nämlich prismatische Eisstücke, wovon die gröſsten eine Unze wogen, und bei 29 Lin. Länge 17 Lin. Breite und 8 Lin. Dicke hatten. Für die Engländer, setzt Peron hinzu, war diese Erscheinung nicht auffallend, denn sie hatten sie schon oft beobachtet, am ausgezeichnetsten aber im December 1795, indem gleichfalls statt gewöhnlichen Hagels Eisstücke herabfielen, wovon die gröſsten 6 bis 8 Z. lang und wenigstens zwei Finger dick waren. Die abentheuerlichste Erzählung, falls wir annehmen wollen, daſs das Factum wirklich so erfolgt sey, wie es erzählt wird, hat Gilbert aus nicht genannten öffentlichen Nachrichten entlehnt[4], und es ist seitdem schon manche physikalische Hypothese dadurch unterstützt oder darauf gebauet. Es heiſst nämlich: Am 28. Mai 1802 fiel in Ungarn bei dem Dorfe Putzemischel während eines Gewitters und Hagelwetters ein viereckiger Eisklumpen aus der Luft, 3 F. lang, 3 F. breit und 2 F. dick. Acht Männer vermochten nicht ihn aufzuheben; man schätzte ihn auf 11 Centner, und nach drei Tagen fand man noch Ueberbleibsel davon. Nicht weit davon

---

1 Hist. nat. de l'air et des météores. A Paris 1770. VII Vol. kl. 8. deutsch. Frankf. 1773. 8. Bouquet hat in seiner Collection des historiens de France aus Eginhard, Hermannus Contr. und der Chronik von Rheims die Nachricht von dem groſsen Hagelklumpen aufgenommen, welcher 823 den 24. Juni gefallen seyn soll, nämlich 15 F. lang, 11 F. breit und 6 Fuſs dick. Auch bei dem starken Hagelwetter in Frankreich im Jahre 1593 sollen Hagelkörner von 10 und 12 Pfund an Gewicht gefallen seyn. Solchen Angaben fehlt die genaue Kritik. Vergl. Wiener Conversat. Blatt 1821 N. 59. S. 704. daraus G. LXXII. 435.

2 Arago in Annuaire pour l'an 1829.

3 Reisen d. Ueb. I. 347.

4 Ann. XVI. 75.

Digitized by Google

lag noch ein zweiter Hagelklumpen von der Gröſse eines guten Reise-Koffers[1]. Es wird indeſs nicht leicht jemand darüber in Zweifel seyn, daſs alle jene monströs groſsen Hagelklumpen aus mehreren zusammengefrorenen bestehen, wofür auch die Erfahrung entscheidet, daſs man in den gröſseren zwei oder mehrere weiſsliche Kerne findet, und wenn kein glaubwürdiger Zeuge bestimmt versichert, daſs er den zuletzt genannten ungeheuern Klumpen wirklich herabfallen gesehen habe, wie an sich überhaupt kaum glaublich ist, so muſs man als das bei weitem Wahrscheinlichere annehmen, daſs derselbe erst auf der Erde durch Zusammenfrieren einer groſsen Menge einzelner Körner gebildet sey. Vergleicht man übrigens diese Erzählung mit einer andern, welche historisch sehr gut begründet ist, so verliert sie viel von ihrer auffallenden Unglaublichkeit. Leopold v. Buch entnahm nämlich aus guter Quelle[2], daſs während der heiſsen Jahreszeit im April und Mai in Mysore häufig groſser Hagel fällt. In der letzten Zeit der Regierung Tippoo Saheb's aber fiel nahe bei Seringapatam eine Hagelmasse von der Gröſse eines Elephanten, wovon die zur Untersuchung hingesandten Officiere des Sultans berichteten, daſs sie bei der Berührung die Empfindung des Brennens erzeuge, eine sehr natürliche Aeuſserung solcher Menschen, welche an die Empfindung der Kälte nicht gewöhnt sind. Die Eismasse lag zwei Tage, ehe sie geschmolzen wurde.

5. Alle Hagelkörner, welche ich in groſser Menge bei mehreren Gelegenheiten zerschlagen habe, groſse sowohl als auch kleine, verhielten sich genau wie gewöhnliches Eis, und anders kann es auch wohl der Natur der Sache nach nicht seyn. Delcros[3] dagegen will gefunden haben, die Gestalt der Hagelkörner sey ein Kugelsector nach einem gleichseitigen sphärischen Dreieck ausgeschnitten. In Gemäſsheit dieser Thatsache glaubt er, der Hagel bilde sehr groſse Kugeln mit einem weiſslichen Kern im Centro, umgeben von einer undurchsichtigen

1 Gilbert forderte die Naturforscher in Ungarn auf, über dieses Phänomen nähere Erkundigung einzuziehen, indeſs wäre es vorläufig nothwendig gewesen, die benutzte Quelle zuvor anzugeben, eine bei seltenen Erscheinungen nothwendige Bedingung.

2 Heyne's Tracts historical and statistical on India p. 20. mitgetheilt bei G. LXXVI. 342.

3 Biblioth. univ. XIII. 154. Daraus G. LXVIII 323.

Kugel, welche nach Auſsen von einer in Zacken auslaufenden Hülle mit ausgefüllten Zwischenräumen umgeben sey. Diese furchtbaren Kugeln sollen dann durch eine Explosion zerplatzen, so daſs nur ihre Bruchstücke als die genannten sphärischen Pyramiden auf die Erde fielen. Indeſs sah er die nicht zerplatzten Kugeln bei einem Hagelwetter zu la Braconnière im Dep. Mayenne, welche die zähen Dachschiefer zerschlugen und schreckliche Verheerungen anrichteten. — Da das Eis leicht in dreikantigen Pyramiden gebildet wird[1], so hat es nichts Widersprechendes, auch die Bildung solcher Pyramiden im Hagel anzunehmen; an eine Explosion aber, welche eine Zerstückelung dieser Kugeln und das Herabfallen der genannten Bruchstücke zur Folge hätte, ist nach meiner Ansicht der Sache auf keine Weise zu denken. Uebrigens versichert auch R. Lindsay[2] am 27. Juni 1823 solche Hagelkörner gesehen zu haben, welche eine undurchsichtige vierseitige oder dreiseitige Pyramide mit einer gewölbten Basis bildeten, und wobei letztere durchsichtig war. Keine Linie daran war länger als 0,5 Z., und auch er ist der Meinung, daſs sie durch Zerplatzen gröſserer Kugeln entstanden seyen.

6. Als eine seltene Ausnahme von der Regel ist es anzusehen, wenn in einzelnen Fällen die Hagelkörner heterogene Substanzen einschlieſsen, indeſs sind einige Beispiele dieser Art so verificirt, daſs die Thatsachen an sich keinem Zweifel unterliegen. Scheuchzer[3], Fromondus[4] und Maternus von Cilano[5] erwähnen ältere Beobachtungen, wonach man im Kerne der Hagelkörner kleine Stückchen Spreu und andere leichte Körper gefunden hat. Man wollte dieses als einen Beweis gegen die Hypothese ansehen, daſs der Hagel in sehr hohen Regionen der Luft gebildet werde, allein mir scheint die Höhe, bis zu welcher leichte Körper durch die den Hagelwettern so oft vorausgehenden Wirbelwinde gehoben werden, ganz unbestimmbar, und ich wundere mich vielmehr, daſs es aus neueren Zeiten keine bekannter gewordenen ähnliche Beobachtungen giebt.

1 S. *Eis*. Th. III. S. 111.
2 Edinb. Phil. Journ. N. XXII. 327.
3 Breslauische Sammlungen. IX. 90.
4 Meteorologicorum L. V. cap. 8. p. 342.
5 Hamb. Mag. XVII. 1.

Digitized by Google

Oefter sind dagegen unorganische Substanzen im Kerne der Hagelkörner gefunden. Bei dem erwähnten groſsen Hagelwetter in Flandern z. B. enthielten einige Hagelstücke eine dunkelbraune Substanz[1]. Im Jahre 1755 beim Toben des Katlegiaa fiel Hagel, wovon jedes Korn einen Theil Sand oder vulcanische Asche einschloſs[2], und im Jahre 1721 fiel in Irland Hagel mit einem eingeschlossenen metallischen Korne[3]. In diesen und ähnlichen Fällen scheint die Substanz ohne Zweifel vulcanischen Ursprungs gewesen zu seyn, da ohnehin die Ausbrüche der Vulcane auf Island sehr häufig von Hagel begleitet zu seyn pflegen. Räthselhafter sind die Oktaëder von etwa 3 Lin. Seite und fast 1 Lin. Höhe, welche nach Eversmann in den am 15. Aug. 1824 zu Sterlitamansk im Orenburgschen Departement gefallenen Hagelkörnern eingeschlossen waren[4], den goldhaltigen Schwefelkieswürfeln von Beresowsky glichen, und für Meteorsteine gehalten wurden. Weniger gewiſs, und daher auch minder leicht erklärbar, ist die Nachricht, welche Quatremère[5] aus Macrizi mittheilt, wonach im Jahre 723 der Hedschra, oder nach Gilbert am 9. Jan. 1323 in der Provinz Mortahia und Dakhaliah Hagel von etwa 1 Pf. schwer und zugleich Steine von 7 bis 30 Pf. gefallen seyn, und viele Ortschaften zerstört, auch eine Menge Rindvieh und Schafe erschlagen haben sollen.

## B. Bildung und Herabfallen des Hagels.

7. Die kleinern Arten der Hagels die sogenannten *Graupeln*, gehören hauptsächlich dem Frühlinge an. Sobald nämlich nach dem Wegschmelzen des Winterschnees, dieses geschehe früh oder spät, und der Wiederkehr einer mildern Frühlingstemperatur die Wärme steigt, und die Feuchtigkeit nebst der

---

1 Phil. Trans. Nro. 203. p. 858.

2 Reise nach Island auf Befehl Sr. Dän. Majestät. A. d. Fr. von Gauthier de la Peyronie IV. 266.

3 Bibl. univ. 1821. Spt. G. LXXII. 436. Wollaston wollte kein Eisen in der Substanz finden, Pictet erkannte sie deutlich für Schwefelkies, Gilbert bezweifelt die ganze Sache, jedoch gewiſs mit Unrecht.

4 G. LXXVI. 340.

5 Ebend. L 299.

Digitized by Google

Elektricität der Atmosphäre zunimmt, erfolgen entweder wirkliche Gewitter oder oftmals wiederkehrende Regenschauer, welche mit Ausnahme der fehlenden Blitze sich ganz wie Gewitter verhalten. In Deutschland fällt ihre Periode gewöhnlich in den Monat April, sie kehren zuweilen jeden Tag wieder, und können mit kurzen Unterbrechungen eine und mehrere Wochen anhalten, so daſs hiernach bei häufigem Wechsel von kurz dauernden Regenschauern mit Kälte verbunden und mildem Sonnenscheine der eigenthümliche Name des Aprilwetters zur Bezeichnung des Ganzen üblich geworden ist. Diese Witterungsdisposition fällt indeſs zuweilen auch in den Mai, und kann sich ausnahmsweise im nördlichen Deutschlande bis in den Juni erstrecken, ist aber jedesmal daran kenntlich, daſs bei ziemlich milder Temperatur bei jedem wiederkehrenden Gewitterschauer, selbst auch wenn die Wolken, ohne den allezeit nur partiellen und zuweilen auf kurze Strecken beschränkten Regen, mit Verdunkelung der Sonne vorübergehen, eine fühlbare und meistens unangenehme Kälte eintritt. Bei dieser Witterungsdisposition ist das Graupeln sehr häufig, und zwar so, daſs entweder einzelne Körner zugleich mit dem Regen herabfallen, oder der atmosphärische Niederschlag beginnt mit einzelnen Regentropfen, dann folgen Graupeln in gröſserer oder geringerer Menge, und zuletzt wieder Regen. Ferner kann eine ähnliche Disposition der Witterung im Juni und, jedoch höchst selten, selbst im Juli statt finden, wenn an einer Gegend oder in deren Nähe ein starkes Gewitter, hauptsächlich von Hagel begleitet, vorangegangen ist, nie aber, wie ich glaube, im August oder September, und die Dauer der Wiederkehr solcher Schauer ist allezeit nur kurz. Endlich sind Graupeln in gröſserer oder geringerer Menge dem Schnee beigemischt, am meisten im Anfange und am Schlusse der eigentlichen Winterzeit, namentlich gegen das Ende desselben im Februar oder März, je nachdem die Breite der Oerter niedriger oder höher ist. Die auffallendsten Schauer dieser Art beginnen dann mit starker Dunkelheit, einem plötzlichen einzigen, meistens heftigen Donner, vielen Graupeln und endigen mit Schnee, welcher bei nachfolgender Kälte oft längere Zeit liegen bleibt.

8. Graupeln sind häufig auf hohen Bergen, wo nur selten oder niemals Hagel fällt, so daſs letzterer namentlich in den

Digitized by Google

Tropengegenden, nach v. Humboldt[1] bis zu einer Höhe von 1800 F. seltener seyn soll, als Meteorolithen in Europa. Daſs auf den höheren Alpengebirgen Graupeln häufig fallen, Hagel aber selten, haben schon Scheuchzer, Beccaria und Fromondus beobachtet[2]. Saussüre aber fand aus einer langen Reihe von Beobachtungen, daſs dort 11 maliges Graupeln auf einmaliges Hageln gehört, auch findet man zwischen dem Schnee auf dem Col du Géant und selbst dem Montblanc häufige Graupelkörner[3]. Auf gleiche Weise scheint auch v. Humboldt[4] Fälle von Graupeln in höhern Gegenden der Tropenländer nicht auszuschlieſsen, wie schon daraus wohl nothwendig folgt, daſs dort Schnee in so groſser Menge fällt.

9. Wenn schon das Graupeln unter die allgemeine Classe der Gewitterschauer gehört, so ist dieses noch ungleich mehr der Fall beim eigentlichen Hagel, und es können daher alle diejenigen Erscheinungen hier übergangen werden, welche das Gewitter betreffen[5], insofern die Hagelwetter ganz eigentliche Gewitter, jedoch in der Regel von der furchtbarsten Art sind, Diejenigen Gewitter, welche Hagel bringen, gehören zu den dicksten, schwärzesten und am tiefsten herabgehenden, sie entstehen meistens nach vorausgegangenem heiterem, insbesondere windstillem Wetter und nach einer anhaltenden, über das Gewöhnliche hinausgehenden, drückenden, einen hohen Feuchtigkeitsgrad der Atmosphäre anzeigenden Wärme. In der Regel fällt das Barometer vor dem Hagelwetter stark, zuweilen noch während desselben, doch fängt es schon dann und in den meisten Fällen gleich nach der Beendigung desselben an zu steigen, die Temperatur nimmt schon bei seinem Beginnen ab, und sinkt zuweilen vom vorausgegangenen höchsten bis zum nachfolgenden tiefsten Thermometerstande um 25° C. In den ganzen Gewitterwolken bilden die Hagel führenden Theile meistens weiſslich scheinende kenntliche Streifen, wenn gleich solche von den übrigen sehr dunkeln sich selbst in der Ferne auszeichnende Parthieen nicht allezeit sicher auf Hagel schlieſsen

1 Reis. d. Ueb. II. 397.
2 Musschenbroek. Int. §. 2393.
3 De Saussüre Voy. §. 2075.
4 Reis. deutsch. Ueb. III. 465.
5 S. Art. *Gewitter*. Th. IV. S. 1581.

laſsen. Beträchtlich nahe und schwere Hagelwolken kündigen sich durch ein eigenthümliches Brausen an, welches anfänglich einem entfernten Sturme in höheren Gegenden ähnlich ist, in gröſserer Nähe aber in ein ganz eigentliches Geprassel ausartet, und zuletzt eine unverkennbare Folge des Auseinanderschlagens der Hagelkörner ist[1]. Nicht ganz selten bilden die Hagelwolken einen traubenartigen Schlauch, welcher sich im Fortgange tiefer herabsenkt und zuletzt fast die Erdoberfläche berührt, ehe er sich seiner Bürde entledigt.

10. Die vom Hagel getroffenen Strecken sind gewöhnlich schmal, und haben nach Musschenbroek[2] selten eine gröſsere Breite als 100 bis 300 Ellen, welche Angabe indeſs wohl etwas zu geringe ist, da man 1000 bis 3000 F. als nicht unter die ganz seltenen Fälle bei gröſseren Hagelschauern rechnen kann. Bei dem groſsen Hagelwetter, welches 1788 in Frankreich unermeſslichen Schaden anrichtete, liefen zwei Streifen von SW. nach NO. und lieſsen zwischen sich einen Raum, dessen gröſste Breite 7, die geringste 3 franz. Meilen betrug; die beiden Streifen selbst hatten, die eine 5 Lieues als gröſste, 3 als geringste Breite, die andere 3 und 1,5 Lieues. Inzwischen ist die Verwüstung nicht in der ganzen Breite der Hagelwolke gleich stark, sondern an den Grenzen fallen allezeit nur einzelne und kleinere Hagelkörner, die gröſsten und zahlreichsten meistens in der Mitte. Nur äuſserst selten erstreckt sich die Verheerung über einen an Länge und Breite wenig verschiedenen Raum, indem die Länge desselben in der Regel ein sehr Vielfaches der Breite ist. Schon Musschenbroek giebt die Länge der von den Hagelwolken durchlaufenen Räume auf eine bis zwei Meilen an, allein wenn diese Angabe gleich für einzelne Fälle zu groſs ist, so ist sie dagegen für andere beträchtlich zu klein. Das groſse Hagelwetter in Hannover durchlief in der Richtung von NW. nach SO. von Hannover bis Wolfenbüttel eine Strecke von 7 Meilen, und bei dem eben genannten von 1788 blieben die beiden Streifen auf eine Strecke von mindestens 100 Lieues getrennt, die ganze Längenausdehnung konnten die Berichterstatter indeſs nicht mit Gewiſsheit ausmitteln[3]. Nicht völlig

1 Davon reden schon die Alten, z. B. Lucr. de rer. nat. Lib. VI. v. 155.

2 Introd. §. 2395.

3 Mém. de l'Acad. 1790. p. 266.

eine gleiche Ausdehnung hatte das Hagelwetter, welches 1186 bei Artois am heftigsten war [1], noch auch ein anderes im Jahre 1360, wodurch die damals unter dem Könige Eduard bei Bretigny campirende englische Armee bedeutenden Schaden erlitt [2], mehr dagegen ein drittes, vom 10. Juni 1593, dessen Verheerungen unter andern die Gegenden von Tours, Pontoise, Senlis, Meaux, Crépy, Soissons, Amiens und Abbeville trafen [3]. Unter den aus der neüeren geschichtlichen Zeit genau bekannten bleibt das von 1788 rücksichtlich der Ausdehnung das gröſste.

11. So wie einzelne Jahre sich durch häufige und sämmtlich meistens den nämlichen Zug befolgende Gewitter auszeichnen, so ist dieses auch der Fall bei den Hagelschauern, jedoch mit dem Unterschiede, daſs die nämlichen Orte wohl nie mehrmals in einem Jahre vom Hagel verheert werden; im Allgemeinen sind dann die wärmsten und fruchtbarsten Jahre auch die gefährlichsten in Rücksicht auf möglichen Hagelschaden. Des Beispiels wegen mögen nur folgende ohne eigentliche Absicht des Sammelns aus öffentlichen Blättern entlehnte Fälle angeführt werden. Im Jahre 1822 war am 7ten Mai das furchtbare Hagelwetter in Bonn; am 8ten Mai geringer Hagel in Heidelberg; am 9ten Juni ein furchtbarer in Trient, wobei ein sechzehnjähriges Mädchen auf dem Felde so heftige Contusionen erhielt, daſs es am dritten Tage davon starb; am 16ten Juni heftigster Sturm mit wenigem Hagel in Darmstadt, Sinsheim u. s. w.; am 23sten Juni Sturm mit Hagel bei Straſsburg von solcher Heftigkeit, daſs unter andern mehrere Schornsteine herabfielen, und eine Lage Bretter wie Kartenblätter in die Höhe gehoben und umhergestreuet wurde; am 24sten Juni richtete ein fürchterliches Hagelwetter bei Venedig groſse Verwüstungen an, zerschlug viele Fenster, Früchte und Wein, auch Pferde, welche nicht schnell genug untergebracht werden konnten; am 25sten Juli verwüstete ein starker Hagelschlag viele Felder in der Wetterau; am 1sten September war ein starker Wolkenbruch im Ottowalder Grunde in Sachsen; am 21sten Sept. desgleichen bei Marseille; und so dauerte es selbst bis in den October, in-

---

1 Accetarium Aquinetinum ad chronica Sigeberti et Anselmi Gemblacensium; ed. Auberti Miraei. 1608. 4.

2 Villaret. II. 132. edit. de Cologne. 1719.

3 Ebend. Vergl. Mém. de l'Acad. 1790. p. 281.

Digitized by Google

dem am 14ten dieses Monats ein Ungewitter mit Hagel in Venedig und am 24sten in Genua groſse Verwüstungen anrichtete, die gewiſs vielen von mir nicht beachteten Fälle ungerechnet.

12. Die nämlichen Gegenden werden zuweilen in aufeinanderfolgenden Jahren wiederkehrend durch Hagelschlag verwüstet und dann eine geraume Zeit wieder verschont, welches zum Theil von denjenigen unbestimmbaren Witterungsdispositionen abhängen mag, welche uns eben deswegen als Zufälligkeiten erscheinen müssen, und es ist daher sehr räthlich, solche Phänomene nicht sogleich auf örtliche Bedingungen zurückzuführen, oder wohl gar angewandte Vorkehrungen als unfehlbare Gegenmittel zu betrachten. Mir ist unter andern ein Fall bekannt, daſs ein noch lebender Physiker im Auftrag der Landesregierung hingesandt wurde, um die Ursachen der so oft wiederkehrenden Hagelschauer und ihre mögliche Abhülfe zu untersuchen. Bei dieser Gelegenheit machte sein Begleiter die Landleute glauben, der Mann sey gesandt, um die Gewitter zu bannen, und weil sie von der Zeit an wirklich ausblieben, so erhielt sich in jener Gegend lange der Glaube, daſs die Bannung von Erfolg gewesen sey. Scheuchzer wollte aus den Beobachtungen in den Schweizergebirgen gefunden haben, daſs Hagelwetter nie in Thäler eindringen, welche von der Ostseite durch Berge geschützt sind[1], eine schwerlich haltbare Behauptung. Richtiger dürfte diejenige seyn, welche de Saussüre[2] aufgestellt hat, daſs in denjenigen Ebenen, welche in der Nähe sehr hoher Berge liegen, in einer gewissen Entfernung von diesen die Hagelschauer weit häufiger sind, als in gröſserer oder geringerer Entfernung, und daſs es gewisse Gegenden giebt, welche nie oder sehr selten getroffen werden. Im Allgemeinen stimmt dieses mit den bestimmtesten Erfahrungen überein, und der Grund läſst sich zuweilen in örtlichen Bedingungen, z. B. der Nähe und Richtung von hohen Bergen und groſsen Flüssen nachweisen. Um indeſs über das Thatsächliche sicher zu seyn, dürfen die Beobachtungen nicht auf zu kurze Perioden beschränkt werden, weil sonst jene angegebene Periodicität zu unrichtigen Folgerungen verleiten kann. Uebrigens fällt diese Untersuchung mit der über das Erscheinen der Gewitter zusammen, indem die Hagelschauer

1 Musschenbroek Int. §. 2397.

2 Voyag. §. 972.

Digitized by Google

nur eine Species von diesen sind. Daſs es in den Tropenländern selten hagelt, ist oft behauptet, so furchtbar auch die Gewitter und Platzregen dort sind. Thibault de Chanvellon [1] behauptet, es habe in Martinique nur einmal im Jahre 1721 in der Ebene geschlosset, und sey dieses Phänomen wegen seiner Seltenheit sehr aufgefallen, eine Behauptung, welche Moreau de Jonnes [2] für übertrieben hält. Indeſs erzählt v. Humboldt [3], es sey in Parama in der Mitte des vorigen Jahrhunderts Hagel gefallen, und dieses sey das einzige ihm bekannte Beispiel von Hagel in den Tropenländern in einer mit dem Meeresspiegel fast gleichen Ebene, weil dort in 300 Toisen Höhe kein Hagel falle. Der berühmte Gelehrte meint dann ferner, man müsse annehmen, daſs der überall in gleicher Höhe über der Meeresfläche gebildete Hagel bei seinem Herabfallen durch die unteren, etwa 300 Toisen dicken Luftschichten, deren mittlere Temperatur etwa 27°,5 und 24° C. ist, wieder geschmolzen werde. Dabei findet er es bei dem gegenwärtigen Zustande unserer meteorologischen Kenntnisse schwer zu erklären, warum in Philadelphia, in Rom, in Montpellier u. s. w. in den heiſsesten Monaten Hagel fällt, wenn die mittlere Temperatur 25° bis 26° C. beträgt, während diese Erscheinung in Cumana, in la Guyara und überhaupt in den Aequatorialgegenden nicht wahrgenommen wird. Da es in den vereinten Staaten, und in Europa unter etwa 40° bis 43° N. B. in den Ebenen im Sommer eben so heiſs ist, als in den Tropenländern, die Abnahme der Wärme in zunehmender Höhe aber an allen diesen Orten kaum etwas verschieden sey, so müsse man das Schmelzen der Hagelkörner in den untern Regionen daraus erklären, daſs sie beim Entstehen in gemäſsigten Zonen gröſser seyen, als in den äquatorischen, zugleich aber seyen wir noch zu wenig mit den Bedingungen bekannt, unter denen in gemäſsigten Zonen das Wasser in den Wolken zu Hagel gefriere, um beurtheilen zu können, ob eben dieselben auch unter dem Aequator über den Ebenen vorhanden sind. Daſs auch in den Tropenländern in gröſseren Höhen Hagel fällt, meistens aber nur kleinerer, ist schon oben bemerkt, und v. Humboldt stellt dieses

---

1 Voyage à la Martinique.

2 Sur le climat des Antilles. p. 49.

3 Reis. deutsche Ueb. III. 465.

Digitized by Google

auch nicht in Abrede, wie ich mehrmals gelesen zu haben mich erinnere; inzwischen werde ich bei der nachfolgenden Theorie des Hagels auf diese Thatsachen Rücksicht nehmen.

Die dem Hagel unterworfenen Erdzonen fangen hiernach also auf der nördlichen Halbkugel erst etwa mit dem 30sten Breitengrade an, und erstrecken sich vermuthlich nur bis zum 60sten. Ob diese letztere Grenze als sicher anzunehmen sey, wage ich nicht zu bestimmen, zweiſle indeſs, daſs das Hageln unter höheren Breiten als eine gewöhnliche Erscheinung zu betrachten sey, obgleich Graupelschauer, namentlich bei den in den Küstengegenden vorherrschenden Wintergewittern nicht selten sind. Auſserdem machen die unverhältniſsmäſsig warmen Districte Norwegens und Island vielleicht eine Ausnahme, wie denn das oben erwähnte Hageln am letzteren Orte offenbar zunächst durch die vulcanischen Producte des Katlegiaa bedingt wurde. Auf der südlichen Halbkugel findet ohne Zweifel das nämliche Verhältniſs statt. Endlich folgt schon aus demjenigen, was oben über die Graupelnbildung gesagt ist, daſs eigentlicher Hagel nicht auf hohen Bergen fällt, und ich möchte eine Höhe von 5000 bis 6000 F. als diejenige annehmen, worauf das eigentliche Hageln beschränkt ist.

13. Die Hagelschauer sind an keine bestimmte Tageszeit gebunden, jedoch kommen sie häufiger Nachmittags als Vormittags, selten bei Nacht. Musschenbroek sagt bloſs, es hagele häufiger bei Tage als bei Nacht, allein man kann mit Recht behaupten, daſs das Letztere unter die groſsen Seltenheiten gehöre. Früher hat man sogar den Satz aufgestellt, es falle bei Nacht gar kein Hagel, und daraus schlieſsen wollen, der Einfluſs des Lichtes sey zu seiner Bildung nothwendig; allein es ist gewiſs, daſs es in sehr seltenen Fällen auch bei Nacht hagelt, jedoch werden nur die gröſseren Hagelwetter öffentlich bekannt, und es ist begreiflich, daſs gerade diese sich weniger bei Nacht ereignen, als bei Tage. Dennoch aber war das groſse Hagelwetter 1802 bei Buck im Posener Departement während der Nacht, wobei Hagelkörner von der Gröſse einer geballten Mannsfaust herabfielen [1], und Lichtenberg versichert, es seyen ihm verschiedene Beispiele von Hagelwettern bei Nacht berich-

1 G. XVI. 75.

Digitized by Google

tet worden [1]. Noch neuerdings bezeugt Wöllner [2], daſs er selbst das Fallen des Hagels während der Nacht beobachtet habe, und Bellani [3] führt sogar drei ihm bekannte nächtliche Hagelwetter an, eins am Comersee um Mitternacht vom 27. bis 28. August 1778, das zweite ebendaselbst und um dieselbe Zeit vom 19. bis 20. August 1787, und das dritte bei Anbruch des Tages im Juli 1806, so daſs sie in Italien häuſiger als an andern Orten zu seyn scheinen. Unter die mit Gewiſsheit ausgemachten Thatsachen gehört aber das starke Hagelwetter in der Nacht vom 25sten zum 26sten Juli 1822, welches im nördlichen Deutschlande von Lommatsch bis in die Niederlausitz eine bedeutende Strecke verheerte. Nach den durch Raschig hierüber eingezogenen Nachrichten [4] war es in Meiſsen um 12 Uhr Nachts, und an einigen Orten, namentlich bei Cönnern und Königswartha so heftig, daſs man die Früchte nicht mehr erkennen konnte, die auf den Aeckern gestanden hatten, und Hunderte von Staaren todt auf dem Felde fand. Endlich [5] ereignete sich auch das berühmte Hagelwetter, wodurch im Canton de Vaud die mit Hagelableitern so vollständig versehenen Weinberge gänzlich verheert wurden, in der Nacht vom 22sten auf den 23sten Juli 1826.

14. Die eigentlichen Hagelschauer, mit Ausschluſs des Graupelns, gehören dem Sommer an, weil sie Begleiter der stärksten Gewitter sind, welche gleichfalls in mittlern Breiten nur selten oder fast gar nicht im Winter beobachtet werden. Musschenbroek rechnet jeden Graupelschauer mit unter das Hageln, und findet auf diese Weise, daſs es im Winter öfter hagelt, als im Sommer, was aber mit der sonst allgemein herrschenden Ansicht im Widerspruch steht. Wenn man dagegen zugiebt, daſs die eigentlichen Hagelwetter zu den stärksten Gewittern gehören, so fallen die Perioden beider zusammen, und es folgt hieraus von selbst, daſs die Monate Juni und Juli am meisten Hagel geben, dann Mai, August und September; im April und October ist das Hageln eine groſse Seltenheit, und

1 Erxleben's Naturlehre. §. 736. Anm.

2 Kastner Archiv. I. 311.

3 Brugnatelli Giorn. T. X. p. 369.

4 G. LXXII. 434.

5 Bibl. univ. XXXIII. 50.

in den übrigen Monaten trifft man die Erscheinung fast überall nicht, weswegen das heftige Hagelwetter zu Montpellier am 30sten Januar 1741 als merkwürdige Ausnahme von der allgemeinen Regel betrachtet wurde[1].

15. Die Hagelwetter theilen ganz die Eigenthümlichkeiten der Gewitter, weswegen ich die Bildung, Höhe, Ausdehnung und Gestalt der Wolken, den begleitenden Sturmwind und Regen, das Blitzen, Donnern u. s. w. ganz mit Stillschweigen übergehen kann. In der Regel, wo nicht allgemein, dauert das Hageln kaum länger als 15 Minuten, selten 30 Minuten, und ich zweifle, daſs Beispiele von der Dauer einer Stunde beobachtet sind. Auf gleiche Weise bewegen sich die Hagelwolken mit groſser Geschwindigkeit über die verheerten Strecken, obgleich bei der bekannten Unsicherheit im Gange der Uhren an verschiedenen Orten hierüber kaum überall genügende Beobachtungen vorhanden sind. Leroi, Büache und Tessier, welche das merkwürdige Hagelwetter von 1788 untersuchten, gaben sich alle ersinnliche Mühe, die Geschwindigkeit genau zu erforschen, womit sich die Hagelwolken bewegten, und obgleich die Art der Bestimmung, nämlich aus der Anfangszeit des Hagelns an den ungleich entlegenen Orten keine vollkommene Sicherheit gewährt, so kann doch das gefundene Resultat als der Wahrheit sehr nahe kommend betrachtet werden. Das Hagelwetter durchlief nämlich einen Raum von 16,5 Lieues in einer Stunde, welches nach der gleichfalls mitgetheilten Bestimmung von 2300 Toisen auf 1 Lieue 35,8 Par. F. in einer Secunde, oder 10 geographische Meilen in 1 Stunde beträgt. Die hier gefundene Geschwindigkeit wäre also etwa die mittlere eines heftigen Sturmwindes, und obgleich die Hagelschauer meistens von den letzteren begleitet sind, so muſs man doch zugleich berücksichtigen, was für eine Masse der meistens stoſsweise sich bewegende Wind an einem Hagelwetter vor sich her zu treiben hat, abgesehen davon, daſs der gemeinen Erfahrung nach die Gewitterwolken sich nicht allezeit so schnell bewegen, als der Wind. Uebrigens ist die Geschwindigkeit von 10 geogr. Meilen in einer Stunde groſs genug, um das gewöhnlich bei Hagelwettern vorkommende Fortschreiten daraus zu erklären.

1 Mém. de Paris. 1741. p. 218.

Digitized by Google

16. Unter die wesentlichsten Eigenthümlichkeiten, wodurch sich die Hagelwetter von den gewöhnlichen Gewittern unterscheiden, gehören vorzüglich das schon erwähnte Brausen, die weiſsliche Gestalt der Wolkenstreifen, worin der Hagel gebildet ist, und auſserdem eine Verdunkelung, welche nach Tessier mit der bei totalen Sonnenfinsternissen Aehnlichkeit hat, auch nach meinen eigenen und fremden Beobachtungen so stark ist, daſs man nicht mehr lesen kann. Ferner glaube ich bemerkt zu haben, daſs beim Beginnen von Hagelwettern, wie bei sehr schweren Gewittern, einzelne Blitze und ein abgeschnittener prasselnder Donner minder häufig beobachtet werden, als vielmehr eine dem Wetterleuchten ähnliche anhaltende Erhellung und ein ununterbrochenes dumpfes Rollen des Donners. Hat eine Gewitterwolke schon eine Zeitlang geregnet, so ist man in der Regel gegen Hagelschlag, hauptsächlich gegen verheerende Hagelwetter gesichert, in den bei weitem meisten Fällen dagegen rückt das Hagelwetter mit den beschriebenen Phänomenen heran, es erfolgt ein hervorstechend heftiger Donner, hiernach fallen einzelne sehr dicke Regentropfen, deren Fallen meistens hörbar heftig ist, demnächst einzelne kleine Hagelkörner, wobei die Gefahr um so gröſser ist, je weniger diese von vielen und kleinen Regentropfen begleitet sind, und endlich erfolgt das Hageln selbst, welches in sehr kurzen Pausen einer geringeren Heftigkeit und bei begleitendem heftigem Blitzen und Donnern nur einige Minuten anzuhalten pflegt. Die Dunkelheit, das Brausen in der Luft, die heftigen Blitze mit furchtbarem Donner, das Prasseln der Hagelkörner auf dem Straſsenpflaster und den Dächern, das Zerschlagen der Fenster, welches alles überraschend schnell hervorbricht, erfüllen Menschen und auch Thiere mit einer Art von Bangigkeit und Furcht. Die Gewalt, womit der Hagel herabfällt, ist zwar aus mechanischen Gesetzen leicht erklärbar, aber dennoch überraschend, und um so viel stärker, je heftiger der Wind ist. Menschen werden nicht leicht dadurch bedeutend beschädigt, noch weniger erschlagen, weil sie zeitig Schutz suchen; dennoch sollen 1717 durch ein Hagelwetter mehrere Menschen und Stücke Vieh erschlagen seyn; desgleichen 1731 bei Olmütz in Mähren mehrere Personen[1] und 1767 bei Potsdam ein Ochse, auch wurde

1 Beide Angaben a. d. Journal de Verdun in Mém. de l'Ac. 1790. p. 272.



Digitized by Google

einem Bauer ein Arm abgeschlagen [1]. Aus den ältern Zeiten findet sich eine Nachricht beim Macrizi [2], welcher erzählt, daſs im Jahre 716 der Hedschra, also 1316 unserer Zeitrechnung, in Syrien ein starker Hagel fiel, wodurch mehrere Menschen und Thiere erschlagen und ausgedehnte Strecken verheert wurden. Inzwischen sind diese Nachrichten keineswegs so verificirt, daſs sie unbedingten Glauben verdienten. Weit mehr ist dieses der Fall bei der in öffentlichen Blättern mit allen einzelnen Umständen mitgetheilten Nachricht von dem starken Hagelwetter, welches 1822 am 9ten Juni bei Trient von drei Kindern auf dem Felde ein 16jähriges Mädchen so verwundete, daſs es nach einigen Tagen starb. Wie sehr ein solcher Fall unter die auſserordentlich seltenen gehören müsse, dieses ergiebt sich schon daraus, daſs nach genauen Erkundigungen bei dem ungeheuern Hagelwetter in Frankreich 1788 kein Mensch bedeutend beschädigt wurde [3], von einigen getödteten Schafen blieb es indeſs ungewiſs, ob sie vom Blitze oder durch den Hagel erschlagen waren. Dagegen fand es sich sowohl bei diesem als auch bei dem von mir in Hannover 1801 beobachteten, daſs viele Hasen, Rebhühner, Raben, Drosseln und Spatzen erschlagen wurden, und ein Landmann in Herrenhausen sammelte allein 20 getödtete Spatzen; Personen, welche der Hagel auf dem Felde überraschte, hatten blaue Schwielen, Kühe hatten Beulen und Schafe waren am Kopfe und den Ohren beschädigt. Bei dem oben [4] erwähnten Hagelwetter auf der Orkadischen Insel Stronsa wurde ein Knabe im Nacken so heftig verwundet, daſs er nach mehreren Monaten noch nicht wieder hergestellt war, Pferde und Kühe im Freien waren alle mehr oder weniger stark verwundet und blutend, von einer Heerde Gänse waren die meisten erschlagen oder verstümmelt, das Meer trieb viele erschlagene Vögel ans Land, und als der Hagel weggeschmolzen war, fand man viele todt auf dem Boden liegend. Einige der jüngeren Pferde waren so zerschlagen und erschreckt, daſs sie betäubt hingestreckt lagen, und nie wieder völlig zu gesun-

---

1 Allgem. Zeit. 1817. Juli.

2 S. Quatremère bei G. L. 299.

3 Tessier fand viele mit starken Beulen auf den Händen und im Gesichte.

4 S. unter A. Nr. 3.

den Kräften kamen. Daſs der Hagel die stärksten Dachschiefer zerschlagen habe, berichtet Delcros [1] als von ihm beobachtete Thatsache, indeſs ist es eine sowohl durch mich, als auch durch viele andere gemachte Erfahrung, daſs weder die Schiefer noch die Ziegel der Dächer den gröſseren Hagelkörnern widerstehen. Eben so habe ich gesehen, daſs Fensterscheiben von vorzüglicher Stärke durch den Hagel nicht bloſs zerschlagen wurden, sondern auch daſs die Bruchstücke davon zusammt den Hagelkörnern in einem langen Saale bis 25 Par. F. hingeschleudert waren. Man kann es hiernach nicht auffallend finden, daſs der Hagel die stärksten Pflanzen zerschlägt, auch Weinreben und Aeste von zwei Linien Dicke zerbricht. Hieraus erklärt sich dann leicht der unermeſsliche Schaden, welchen ein weit sich verbreitendes Hagelwetter anrichten kann, und welcher 1788 in Frankreich nicht übertrieben auf fast 25 Millionen Liv. abgeschätzt wurde.

17. Die Menge des Hagels, welcher über eine ganze Strecke oder hauptsächlich auf die am meisten getroffenen Oerter herabfällt, ist ganz unglaublich, wenn gleich nicht füglich genau meſsbar. Selten oder nie ist nämlich ein Hagelschauer ohne einen bedeutenden Regen, wodurch der Hagel auf einzelne Stellen in Niederungen zusammengeschwemmt wird, so daſs seine Höhe nicht mehr bestimmbar bleibt, abgesehen davon, daſs ein groſser Theil alsobald durch die Wärme des Erdbodens und den nachfolgenden Regen schmelzt. Die gewöhnlichen Berichte sagen daher nur, daſs der Hagel an einigen Orten bis zu einer Höhe von 2 und mehreren Schuhen zusammengeflossen sey. Nach Parent [2] soll bei dem groſsen Hagelwetter zu Iliers im Mai 1702 der Hagel an mehreren Orten einen Fuſs hoch gelegen haben, allein mir scheinen die Gröſsenbestimmungen dieses Gelehrten bei der Beschreibung jenes Naturereignisses nicht hinlänglich genau; denn die gröſsten Körner sollen einer geballten Mannsfaust gleichgekommen seyn, und ¾ Pfund gewogen haben, welche beide Angaben nicht mit einander übereinstimmen. Glaublicher dagegen wegen der genauen Angabe der begleitenden Umstände scheint mir die Nachricht, daſs bei dem Hagelwetter am 24sten Juli 1818 auf der Orkney-

1 G. LXVIII. 323.

2 Mém. de l'Ac. 1803. p. 19.



Digitized by Google

Insel Stronsa der Hagel im freien Felde 9 engl. Zoll hoch gelegen habe[1], obgleich ich auch diese Höhe noch für etwas übertrieben zu halten geneigt bin. Bei dem Hagelwetter in Hannover hatte ich Gelegenheit, einen möglichst horizontalen freien Platz zu beobachten, und eben so 1824 hier in Heidelberg. Im ersteren Falle lagen die Hagelkörner nicht 3 Z. und im letzteren nicht 1,5 Z. hoch, dort ging die Temperatur augenblicklich sehr tief herab, hier ungleich weniger, und stieg auſserdem sogleich nachher wieder ungewöhnlich. Nehme ich also das Doppelte von jener Beobachtung, so glaube ich, daſs 6 Z. Höhe auf allen Fall als das Maximum angesehen werden kann, welches der gefallene Hagel zu erreichen vermag, wenigstens für die Breite von Deutschland, denn ob in südlichern Gegenden, wo die Regenmengen gleichfalls beträchtlicher sind, auch die Menge des Hagels gröſser sey, kann ich aus den mir vorgekommenen Berichten nicht ausmitteln, muſs es jedoch aus andern Gründen bezweifeln. Ist aber die Rede von der Gesammtmenge des fallenden Hagels, so ist diese nicht selten ganz unglaublich. Die stärkste Angabe, welche mir hierüber vorgekommen ist, bietet die Beschreibung des Hagelwetters von 1360[2] dar, indem damals durch die aus Hagel und Regen entstandenen Fluthen im englischen Lager 1000 Menschen und über 6000 Pferde umgekommen seyn sollen. Ist dieses übertrieben, so kann dagegen als völlig ausgemacht betrachtet werden, daſs 1792 bei dem furchtbaren Hagelwetter unweit Beverungen im Hannöverschen die aus Hagel und Wasser bestehenden Fluthen von einer flachen Anhöhe herabstürzend einen vierspännigen Wagen mit Flachs beladen mit sich fortrissen, und in die Weser stürzten. Eben diese drangen mit solchem Ungestüm in das kleine Städtchen, daſs sie am andern Ende die Thore versetzten, einen Eisdamm innerhalb derselben bildeten, die Keller füllten und eine Ueberschwemmung erzeugten[3]. Im Jahre 1800 schwoll zu Mariengarten unweit Göttingen ein unbedeutender Bach durch die herbeiströmende Menge von Hagel und Wasser zu einer solchen nie erlebten Höhe an, daſs die zuerst ihren Lauf versperrenden Gegenstände, nämlich eine 6 F. hohe und

1 Edinb. Phil. Journ. Nr. VIII. 366.
2 Bei Villaret a. a. O.
3 Lampadius im Hann. Mag. 1792. St. 93.

2 F. dicke Gartenmauer in einer Strecke von 20 F. umgestürzt wurde, und ein zweistöckiges massives Haus durch sein Wanken die Gefahr des Einsturzes drohte. Solche Fluthen haben die leicht erklärliche Eigenthümlichkeit, daſs sie in gröſster Stärke oft nur 15 Minuten, meistens nur eine halbe und selten über eine ganze Stunde dauern.

## C. Theorie des Hagelns.

18. Nach den älteren Physikern sollten die Wolken durch unbekannte Ursachen im Ganzen in Eis verwandelt werden, zerplatzen und dann die durch Abreiben abgerundeten Stücke auf die Erde herabfallen. Musschenbroek [1] ist wegen des kleineren Hagelns, der *Graupeln*, welche im Winter oder auf höheren Bergen fallen, nicht in Verlegenheit, sondern er hält sie für gefrorne Regentropfen, welche in den an sich unter dem Gefrierpunct erkalteten Luftschichten gebildet werden. Schwieriger ist die Entstehung des gröſseren Hagels im Sommer zu erklären. Nach Musschenbroek ist für Frankreich, England und Holland die Schneegrenze 9600 F. hoch, aber wir sehen oft Wolken, welche noch höher sind, und sich also in der Region des Schnees befinden, wo diesemnach der Regen auch zu Hagel gefrieren kann. Von diesen Wolken sind einige elektrisch, andere nicht oder in einem geringen Grade. Begegnen sich beide, so entreiſsen die letzteren den ersteren die Elektricität, wodurch Blitz und Donner entsteht, nach Entziehung der Elektricität stoſsen sich die wässerigen Theile der Wolke nicht ferner ab, sie werden vom Winde oder durch eigenes Zusammenflieſsen vereinigt, und gefrieren durch die Kälte der hohen Region, wo sie sich befinden, und zwar desto schneller, je mehrere erkältende Ursachen zusammenwirken. Zuerst entstehen die kleinen Hagelkörner, dann durch Zusammenbacken die gröſseren, deren Gestalt daher irregulär ist.

19. Eben wie Musschenbroek reduciren in der Hauptsache die meisten spätern Physiker [2] die Entstehung des Hagels auf die Wirkungen der Elektricität, und es genügt daher, nur die Modificationen nachzuweisen, wodurch die einzelnen Hy-

1 Introd. §. 2395.

2 Blaise Monesier Diss. sur la nature et la formation de la Grèle, à Bourd. 1752. 4. Beccaria Lettere del Elettricismo. Bologna 1758.

Digitized by Google

pothesen sich unterscheiden. Mongez[1] faſst seine Theorie selbst in folgende Hauptpuncte zusammen: 1. Alle Wolken sind an sich elektrisch, nehmen aber einen gesteigerten Grad der Elektricität nur durch zufällige Bedingungen an. 2. Bloſs in dem letzteren Falle findet Verdunstung statt. 3. Sobald die elektrische Ausdünstung anfängt[2], bildet sich um den Regentropfen eine Dampfatmosphäre, welche den Einfluſs der umgebenden Wärme aufhebt. 4. Hieraus entsteht Kälte in dieser Atmosphäre, 5. welche sich allmälig bis in das Innerste des Tropfens erstreckt, 6. und wodurch er in Eis verwandelt wird. 7. Ist die Eiskruste gebildet, so hört die elektrische Verdunstung auf. 8. Das herabfallende Hagelkorn endlich verdunstet, wird hierdurch kälter und allmälig härter, so wie es durch die niedrigeren Luftschichten herabfällt.

Aus diesen theoretischen Sätzen sucht Mongez die einzelnen, bei der Hagelbildung vorkommenden Phänomene zu erklären, welches auch an sich nicht schwer seyn kann, da man hierzu im Ganzen nichts weiter als die Bildung von Eiskörnern bedarf, allein die Principien selbst sind keineswegs genügend[3]. Zuerst sind entschieden die Wolken sehr ungleich elektrisch, aber daſs eine Verdunstung bloſs bei gesteigerter Elektricität statt finden sollte, dieses ist eine petitio principii. Ferner ist es zwar richtig, daſs die Elektricität die Verdunstung befördert und letztere Kälte herbeiführt, allein wodurch wird in der so ausnehmend feuchten Wolke eine so starke Verdunstung bewirkt? Die Hypothese von einer elektrischen Dampfatmosphäre ist zu wenig begründet, eben so wie die, daſs eine solche die äuſsere Wärme nicht durchlassen sollte, und würde dieses auch zugegeben, wie könnte hierdurch eine zur Eisbildung erforderliche Kälte im Tropfen selbst erzeugt werden, da sich vielmehr der äuſsere

1 Journ. de Phys. XII. 202.

2 Daſs die Elektricität die Verdunstung vermehre, glaubt Mongez nach den Versuchen von Nollet und nach eigenen annehmen zu müssen, und daſs hierdurch Kälte entstehe, schlieſst er aus den Versuchen von Franklin, Herbert, Morveau u. v. a.

3 Später in Ann. de Chim. V. 51 äuſsert sich Mongez, es sey das Phänomen der Hagelbildung sowohl an sich schwer zu erklären, als auch insbesondere der Umstand, daſs er häufiger im Sommer als im Winter falle. Seine eigene Hypothese scheint ihm also nicht mehr genügt zu haben.

Digitized by Google

Dampf auf der entstandenen Eiskruste niederschlagen müſste. Daſs endlich nach entstandener Eiskruste die el. Atmosphäre entweichen sollte, ist ganz ohne Grund, da die Verdampfung auch beim Eise stattfindet, und man nicht begreift, wo die Elektricität dann bleiben, und warum sie gerade dann erst entweichen sollte.

20. De Lüc's[1] Hypothese hat in früheren Zeiten allerdings Anhänger gefunden, indeſs zweifle ich daran, daſs dieses noch jetzt der Fall sey. In der Hauptsache nahm dieser Physiker an, die Elektricität bestehe einem wesentlichen Bestandtheile nach aus Wärme, weswegen diese letztere gebunden werde, sobald erstere in einem bedeutenden Grade zum Vorschein komme. Lampadius[2] war hauptsächlich derjenige in Deutschland, welcher de Lüc's Hypothese zu unterstützen und als den Erscheinungen angemessen darzustellen suchte, Lichtenberg[3] dagegen, obgleich groſser Verehrer von de Lüc, wich dennoch von dieser Hypothese ab, und fand die Ursache der Hagelbildung hauptsächlich in der Verdunstungskälte, welche ihm eine Folge der Elektricität zu seyn schien, obgleich er selbst sich die bei dieser Erklärung noch bleibenden Dunkelheiten nicht verhehlt. Späterhin schien ihm indeſs de Lüc's bekannte Theorie vom Regen mehr begründet, so daſs er kein Bedenken trug, diese auch auf die Bildung des Hagels anzuwenden, und die dabei eintretende groſse Kälte aus einem Gebundenwerden der Wärme zur Erzeugung der Elektricität zu erklären[4]. Mit der genannten Theorie des Regens fällt also diese Hypothese von selbst über den Haufen, weswegen ich eine Widerlegung hier für überflüssig halte, um so mehr, als schon im Art. *Elektricität* die Unhaltbarkeit jener Hypothese nachgewiesen ist[5]; auch fehlten bei dem oben erwähnten Hagelwetter bei Roncevalles im Jahre 1813, wobei noch obendrein die Hagelkörner von ganz

---

1 Idées sur la météorologie T. II. sect. III. chap. 2. Nouvelles Idées sur la Mét. II. §. 641. Lettres à Mr. de la Metherie. L. VII. In Rozier Obs. XXXVII. 120. Daraus in Gren J. IV. 264. Vergl. Nichols. Journ. of Nat. Phil. 1810. Dec. G. XLI. 189.

2 Beobachtungen über die Elektricität und Wärme unserer Atmosphäre. Berl. 1793. Dessen systemat. Grundriſs d. Atmosphärologie. Freyberg 1806. 8. S. 153.

3 Neues Hannöv. Mag. 1793. Erxleben's Naturlehre §. 736.

4 Vermischte Schr. VIII. 85.

5 S. Th. III. S. 354. Vergl. *Regen*.

Digitized by Google

ungewöhnlicher Gröſse waren, Blitz und Donner gänzlich. V. Arnim[1] behauptet, der Hagel sey fast allezeit negativ elektrisch, und dieses möge wohl eine Hauptbedingung seines Entstehens seyn, wobei er zugleich durch die Verdunstung beim Herabfallen in Folge der hierdurch erzeugten Kälte gröſser werde.

Nach Hube[2] endlich ist der Hagel eine Folge der Elektricität und der dadurch erzeugten Kälte, ohne daſs jedoch näher nachgewiesen wird, in wiefern die letztere durch die erstere nothwendig erzeugt wird; vermuthlich sieht er indeſs mit Heidmann[3] und andern die Wärme als einen Bestandtheil der Elektricität an.

21. In den neuesten Zeiten, und man darf sagen, bis auf den gegenwärtigen Augenblick, hat die Hypothese des berühmten Al. Volta den meisten Beifall gefunden, welche von demselben ausführlich vorgetragen ist, sich aber leicht auf folgende Elemente zurückführen läſst[4]. Volta denkt sich die Feuchtigkeit der Wolken als kleine Dunstbläschen, welche durch die Elektricität der Wolke abgestoſsen werden, und hierdurch in die höchst trockne und kalte Luftschicht über der Wolke kommen. Hier vereinigen sich allmälig die Dunstbläschen zu kleinen Tropfen, welche durch Verdunstung in den ohnehin kalten Regionen gefrieren, zugleich aber ihre Electricität verlieren, und dann durch die im Centrum der Wolke angehäufte Elektricität angezogen, bald aber wieder abgestoſsen werden, wie kleine Kugeln oder zusammengeballete Baumwolle von einem el. Conductor. Auf diese Weise entstehen zuerst die kleinen weiſslichen Kerne des Hagels aus den anfänglich zusammengesinterten, schneeartig krystallisirten Bläschen. So wie diese aber auf die angezeigte Weise stets durch die elektrische Anziehung und Abstoſsung bewegt in die feuchte Wolke eindringen, überziehen sie sich mit einer neuen Lage Feuchtigkeit, welche nach dem Abgestoſsenseyn in den kälteren Räumen über der Wolke hauptsächlich unter Mitwirkung der Verdunstung gefriert, wo-

---

1 G. IV. 327.

2 Vollst. und faſslicher Unterricht in der Naturlehre II. 224.

3 Vollständige auf Versuche und Vernunftschlüsse gegründete Theorie d. El. Wien. 1799. II Vol. 8.

4 Journ. de Phys. LXIX. 286. 333. Daraus in Gehlen's Journ. VII. 67. 223. ursprüngl. in Brugnatelli Giorn. I. 31. 129 u. 179. Verwandte Abhandl. von ihm findet man in Memorie del Inst. Ital. T. I. Part. II. Giornale di Fisica e Chimica di Pavia. T. I.

Digitized by Google

nach also zuletzt die ungemein groſsen Hagelkörner entweder unmittelbar oder durch Zusammensinterung mehrerer kleinerer gebildet werden, welche dann durch ihr Gewicht die Wolke durchbrechen, und herabfallen. Obgleich diese Hypothese zur Erklärung der Hagelbildung genügt, so glaubt doch Volta, daſs der Proceſs weit leichter vorstellbar sey, wenn man zwei Wolken in einem mäſsigen Abstande horizontal über einander schwebend, die eine pos. die andere neg. el. annehmen wollte. Zwischen diesen beiden sollen dann die anfänglich gebildeten Flocken so lange sich auf und nieder bewegen, bis sie die der Repulsionskraft der Wolken proportionale Gröſse erhalten haben, die Wolke durchbrechen und herabfallen. Volta denkt sich dann die Schneebildung im Winter auf die Weise, daſs die Dunstbläschen über den Gefrierpunct warm in der Wolke schweben, deren Umgebung unter 0° C. erkältet ist. Wird eine solche Wolke durch den Windstoſs zerrissen, oder fallen kleine Tröpfchen aus einer Wolke durch eine unter den Eispunct erkältete Luftschicht, so verwandeln sich beide in Schnee, welcher sofort nach seiner Bildung herabfällt, weil die Wolke keine hinlänglich starke Elektricität besitzt, um die zur Hagelbildung erforderliche Abstoſsung und Anziehung hervorzubringen. Im Sommer dagegen werden die Wolken selbst durch die Verdunstung in den oberen Schichten stark erkältet, die einzelnen Dunstbläschen platzen und gefrieren, die Elektricität der Wolken ist stark genug, um die gebildeten Kerne den positiv und negativ elektrischen Wolken entgegen zu schleudern, dabei nehmen sie theils die in den Wolken als Dunstbläschen vorhandene Feuchtigkeit auf, theils die in den Zwischenräumeu befindliche nicht bläschenförmige, und werden hierdurch allmälig zu den groſsen verschieden gebildeten Hagelkörnern gestaltet. Volta zweifelt nicht, daſs die Elektricität der Wolken hinreiche, um diese Bewegung der schweren Hagelkörner zu bewirken, weil sie die unserer Maschinen um ein Vielfaches übertrifft, und manche Physiker versinnlichen den Proceſs der Hagelbildung durch kleine Flocken Baumwolle oder Kugeln vom Marke der Sonnenblumen, welche zwischen zwei entgegengesetzten elektrisirten Scheiben hin und her hüpfen, auch nach Art wirklicher Hagelkörner sich vereinigen, ohne jedoch dabei zu berücksichtigen, daſs Wolken keine festen Scheiben und halbpfündige Hagelkörner keine Flocken Baumwolle sind.

Digitized by Google

Volta macht sich selbst einen Einwurf gegen diese zweite Modification seiner Theorie, welcher zu nahe liegt, als daſs er übersehen werden konnte. Es sey nämlich, meint er, auf den ersten Blick nicht wohl erklärbar, warum die beiden entgegengesetzt el. Wolken sich nicht selbst so stark anzögen, daſs sie zusammenfielen, und sich dadurch wechselseitig neutralisirten, statt sich einander eine geraume Zeit hindurch eine solche Masse Hagelkörner zuzusenden. Indeſs beantwortet er diesen Einwurf damit, daſs er annimmt, die untere Wolke werde nicht bloſs durch die obere, sondern auch durch die Erdoberfläche, die Wälder u. s. w. angezogen und zwischen beiden Kräften im Stillstande erhalten. Die obere Wolke könne aber gleichfalls von andern höheren angezogen werden, es könnten selbst noch niedrigere unter der unteren eine Anziehung gegen diese letztere ausüben, wodurch in den untersten und obersten, die eigentliche Hagelbildung bewirkenden Wolken mancherlei oftmals sichtbare Bewegungen und Fluthungen erzeugt werden könnten; und endlich dürfe man immerhin zugeben, daſs die beiden Wolken einander anzögen, an einer eigentlichen Annäherung aber zugleich durch ihre eigene Masse gehindert würden, so daſs durch die Langsamkeit der Bewegung die el. Spannung derselben bei gegenseitiger Annäherung wachsen, die wiederholte Abstoſsung und Anziehung der Hagelkörner befördert werden, und diese deswegen an Gröſse zunehmen müſsten. Fallen dann endlich die Wolken wirklich zusammen, oder werden sie durch die Gewalt der Hagelkörner durchbrochen, so fallen die letzteren herab, und das eigentliche Hagelwetter tritt ein.

22. So sinnreich auch diese Hypothese durch einen der scharfsinnigsten Physiker ausgedacht und der Mehrheit der das ganze Phänomen bestimmenden Thatsachen angepaſst ist[1], so scheint sie mir doch aus überwiegenden Gründen ganz unhaltbar zu seyn. Nehmen wir zuerst die Ansicht der zwei elektrischen Wolken, so ist zwar durch das Hülfsmittel einer Anziehung der Erde scheinbar geholfen, allein die Zurückführung auf genauere Gröſsenbestimmungen zeigt evident die Unhaltbarkeit. Eine Hagelwolke kann nämlich bei ihrer anfänglichen Bildung gar wohl 8 bis 10000 Fuſs über die Oberfläche der Erde erhaben seyn, wir wollen indeſs nur ein Minimum von 2000 F. anneh-

1 Vergl. Volta's Brief an Configliachi in Ann. Ch. P. IV. 245.

Digitized by Google

men, und hiernach das Verhältniſs der el. Anziehungen prüfen, welche von der Erde und einer höheren Wolke gegen die Haupthagelwolke ausgeübt werden soll. Da die el. Anziehung den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional ist, so kann die obere Wolke um so weniger eine geringere Entfernung von der ersteren haben, als man jene negativ elektrisch, die Erde dagegen neutral annimmt, so daſs also die obere Wolke stärker als die Erde anziehen müſste. Setzen wir aber dann das angenommene Minimum noch auf die Hälfte herab, so müſsten die Hagelkörner 1000 F. hoch in die Höhe geschleudert werden, um die obere Wolke zu erreichen, wozu eine Wurfkraft erforderlich wäre, welche schwerlich jemand der Elektricität einer Hagelwolke beimessen wird. Das gewählte Hülfsmittel von noch höheren Wolken, welche die obere der beiden eigentlich wirksamen elektrischen am Herabsinken hindern soll, schwebt ganz eigentlich in den Lüften, und bedarf nach dem so eben Gesagten sicher keiner eigentlichen Widerlegung. Ein nicht sehr bedeutendes Argument liegt ferner in den elektrischen Aeuſserungen der Hagelwolken. Viele Blitze aus denselben verlaufen sich allerdings in den höheren Regionen, und das oben Nr. 16 erwähnte anhaltende Leuchten spricht sogar bestimmt hierfür, allein unleugbar schlagen auch viele derselben auf die Erde, und da die Elektricität bei ihrer Ausgleichung den minder elektrischen Körper durch Null bis zum stärkst negativ elektrischen sucht, so könnte kein Blitz von der unteren Wolke die Erde treffen, so lange sich in gleichem Abstande von ihr eine negativ elektrische Wolke findet. Wollte man aber endlich annehmen, daſs beide Wolken gleich groſs und von gleicher elektrischer Spannung wären, so müſsten sie bei ihrer Vereinigung neutral werden, was auch so ziemlich bestimmt aus Volta's Darstellung des Processes des Hagelns folgt, und dann müſste das Blitzen aufhören, was aber ganz gegen die Erfahrung streitet[1].

Ein Hauptfehler der aufgestellten Theorie liegt offenbar in einer unrichtigen Vorstellung von der eigentlichen Beschaffen-

---

1 Auch Arago hält die Bildung des Hagels zwischen zwei Wolken für sehr zweifelhaft. Ann. Ch. Ph. XXXIII, 420. Annuaire présenté au Roi. pour l'an 1829. Er führt zugleich an, daſs die Luftelektricität bei Gewittern oft aus dem Positiven ins Negative übergeht, was gleichfalls gegen Volta's Theorie streitet, abgesehen davon, daſs kein Physiker je auf Bergen einen solchen Tanz beobachtet hat.

Digitized by Google

heit der Wolken, und diese wird noch unrichtiger durch den Versuch mit den elektrisirten Scheiben, und den zwischenliegenden Baumwollenflocken. Eine Gewitterwolke von oben herab bei hellem Himmel gesehen gleicht einem weiſslichen Meere von Nebel, welcher mit bedeutenden Wallungen in steigenden und ſallenden, sich umkreisenden und nach den verschiedensten Richtungen abwechselnd sich bewegenden Wellen wogt. Das Ganze besteht aus lauter kleinen Dunstbläschen, welche in zahlloser Menge neben einander schweben, wie auch die Vorstellung seyn mag, welche man über die Natur derselben hegt. In diesen Massen ist nirgend ein fester Punct oder eine stabile Grenze, und die Annahme einer gröſseren und gröſsten elektrischen Spannung in ihrer Mitte ist nicht bloſs durchaus willkürlich, sondern selbst den erkannten Gesetzen vom elektrischen Verhalten der Körper widersprechend. Sollten aber die schon gebildeten Hagelkörner wiederholt von diesen Massen zurückgestoſsen werden, so ist gar kein Grund vorhanden, warum nicht jedes einzelne Dunstkügelchen derselben einer gleichen Einwirkung unterliegen sollte, wodurch aber die ganze Wolkenmasse zerstieben müſste, abgesehen daſs nach Volta die Hagelwolken, also auch die Gewitterwolken elektrischen Conductoren gleichen würden, eine durch de Luc genugsam widerlegte Vorstellung, so wie zugleich davon, daſs nach jedem Blitze die el. Spannung der Wolken momentan aufhört, wonach die noch unvollkommenen Hagelkörner sofort herabfallen müſsten, den schon erwähnten Uebergang in den entgegengesetzt elektrischen Zustand nicht gerechnet. Wird dann ferner das angenommene Verhalten der Hagelkörner im Einzelnen dargestellt, so erscheint die Theorie noch weniger haltbar. Zu diesem Ende wollen wir nur da anfangen, wo das emporgeschleuderte und nachher seiner Elektricität beraubte Hagelkorn wieder gegen die Wolke zurückfällt. Indem sich demselben hier keine Begrenzung darbietet, so muſs es nothwendig in das Innere der Wolke eindringen, oder sich in den neblichen Dunst derselben herabsenken. Daſs sie elektrisch sey, und elektrische Repulsion ausübe, ist in Voraus angenommen. Ihre elektrische Intensität kann aber entweder überall gleich oder sie kann ungleich, und im letztern Falle nach Volta in der Mitte oder, wie es nach dem Verhalten elektrisirter Körper anzunehmen wäre, an den Grenzen am stärksten seyn. In allen diesen Fällen muſs

das angezogene Hagelkorn denjenigen Ort erreichen, wo die Elektricität am stärksten ist; denn ehe es hier mit der einseitigen Elektricität geladen wird, bleibt es allezeit entgegengesetzt elektrisch, welcher von den verschiedenen Theorieen man auch anhängen mag, wie denn auch die Körper von einem Conductor erst dann abgestoſsen werden, wenn sie mit ihm zur wirklichen Berührung gekommen sind. Hat aber das Hagelkorn diese Grenze der stärksten elektrischen Intensität erreicht, und trifft daselbst kein unüberwindliches Hinderniſs, wie bei dem Versuche mit den geladenen Scheiben und kleinen Ballen von Baumwolle oder Hollundermark, so wird es nach allen Seiten, nicht aber, wie ohne allen Grund vorausgesetzt ist, bloſs nach oben abgestoſsen, und muſs daher durch die Schwere und die elektrische Repulsion zugleich afficirt durchaus mit beschleunigter Geschwindigkeit herabfallen, den Einfluſs der Trägheit, wonach es in seiner herabgehenden Bewegung zu beharren strebt, nicht gerechnet. Es scheint mir also als bedürfe es keines weiteren Beweises der gänzlichen Unhaltbarkeit dieser Hypothese[1].

Sie wurde deswegen auch sogleich nach ihrer Bekanntwerdung von einem sehr gelehrten deutschen Physiker, Prechtl[2], mit überwiegenden Gründen angefochten, uud hat sich seitdem hauptsächlich nur in Frankreich und Italien der groſsen Autorität ihres Erfinders wegen in Ansehn erhalten. Prechtl weiset im Allgemeinen die innern Widersprüche nach, daſs nämlich die Sonnenstrahlen über der Wolke eine groſse Trockniſs erzeugen sollen, so daſs die dahin aufwärts geschleuderten Dunstbläschen daselbst durch ihre Verdunstung gefrieren könnten, bei welcher Voraussetzung aber die Wolke selbst aufgelöset werden müſste und noch weniger begreiflich sey, wie die schon gebildeten Hagelkörner in eben jenen Gegenden durch Vereinigung mit dem dort vorhandenen Wasserdampfe zu so groſsen Massen anzuwachsen vermöchten. Insbesondere zeigt Prechtl zugleich die Unmöglichkeit des Emporschleuderns der schon gebildeten Ha-

1 Vergl. Bellani in Brugnatelli Giorn. T. X. p. 359. ff. Dieser Physiker versuchte den Versuch der tanzenden Kugeln vom Marko der Sonnenblume zwischen einer Wasserfläche und einer Scheibe nachzumachen, aber umsonst, auch bemerkt er, daſs nach dieser Theorie ein solcher Tanz angezogener und abgestoſsener Körper zwischen der Erdoberfläche und der Gewitterwolke beobachtet werden müsse.

2 Gehlen's Journ. VII. 223.

gelkörner, wie dieses durch die Elektricität der Wolken geschehen soll. Wird die Entfernung zwischen den beiden elektrischen Wolken nur zu 250 Fuſs angenommen, so müſste die untere bei einem Gewichte der Hagelkörner von 10 Unzen eine ganz undenkbare Wurfkraft haben, und noch weniger sey vorstellbar, wie diese Eismassen, aus einer solchen Höhe herabfallend, einen bloſsen Dunst, einen Nebel, zu durchbrechen nicht im Stande seyn sollten. Einige minder erhebliche Gegengründe nicht zu erwähnen nehme endlich Volta an, daſs die Elektricität der Wolken sich fortwährend mehr zerstreue und schwächer werde; da sie im Gegentheil stets zunehmen müsse, um den Tanz der fortwährend wachsenden Hagelkörner anhaltend zu bewirken.

23. Viele Physiker führen die Hagelbildung hauptsächlich auf die groſse Verdampfung zurück, welche die aus den feuchten Wolken niedergeschlagenen Wassertropfen in den höheren sehr trocknen oberen Luftschichten erleiden sollen, eine Ansicht, bei welcher hauptsächlich Leslie's sinnreicher Versuch zum Grunde liegt, daſs man das Wasser im Vacuo der Luftpumpe und durch Anwendung eines den gebildeten Dampf schnell absorbirenden Körpers, durch seine eigene Verdunstung zum Gefrieren bringen kann. J. T. Mayer[1] führte schon frühe die Hagelbildung der Hauptsache nach auf diese Ursache zurück, am vollständigsten aber ist diese Hypothese vorgetragen von dem Verfasser des Artikel's *Grêle* in der Encyclop. Méth., wonach die ganze Erscheinung auf folgende Weise erklärbar seyn soll.

Die Elektricität nebst der durch sie veranlaſsten Verdunstung ist so unbedeutend, daſs sie zwar etwas beitragen, unmöglich aber das ganze Phänomen bedingen kann. Wenn dagegen eine hinlängliche Menge Wasserdampf zu einem Regentropfen vereinigt ist, so wird er die Adhäsion an die Lufttheilchen überwinden, herabfallen, und hierbei eine bedeutende Verdampfung erleiden, welche an sich so viel stärker ist, und eine hierdurch erzeugte so viel gröſsere Kälte hervorbringt, je mehr die Berührungen mit stets neuen Lufttheilchen und die Compression der Luft eine stete Absorption des Dampfes herbeiführen. Die hierdurch gefrornen Regentropfen fahren fort,

---

1 Lehrbuch über die physische Astronomie, Theorie d. Erde und Meteorolog. Gött. 1805. 8. S. 278. u. Hannöv. Mag. 1800. St. 86.

Digitized by Google

bei ihrem Herabfallen zu verdunsten, hierdurch kälter zu werden, und diesemnach gefriert das Wasser, welches sie auf ihrer Bahn antreffen, in einzelnen Lagen auf ihre Oberfläche, wobei sie durch verschiedene leicht erklärbare Ursachen eine kreisende Bewegung um ihre Axe annehmen, durch welche die Verdampfung und in deren Folge die Erkaltung gleichfalls wächst. Als Bedingungen der Hagelbildung werden also erfordert zuerst daſs die Wolke, worin der Hagel entstehen soll, nicht unter den Eispunct erkaltet sey, damit die Dunstbläschen sich zu einem Tropfen vereinigen können; und zweitens daſs die Höhe der Wolke bedeutend genug sey, damit während der langen Dauer des Fallens die Verdampfung und Kälte den erforderlichen Grad erreichen. Etwas anders modificirt und der Hypothese von Mongez mehr angepaſst könnte dann auch angenommen werden, daſs in den oberen Regionen, wo die Temperatur unter dem Gefrierpuncte ist, eine Wolke existire, in welcher durch Zusammensinterung von Schneetheilchen der Kern der Hagelkörner gebildet würde, unter derselben aber eine andere, über den Eispunct warme, und vielen Wasserdunst enthaltende dicke Wolke. Fiele dann der Kern des Hagelkornes durch die letztere herab, so würde er unter Voraussetzung steter Verdampfung und Erkaltung in Folge des Herabfallens und der rotirenden Bewegung eine Menge Wasser auf seiner Oberfläche in Eis verwandeln, und dadurch allmälich in ein groſses Hagelkorn verwandelt werden. Im Winter, wenn die Wolken so hoch nicht gehen, und sich unter denen, worin bei 0°C. Temperatur die Schnee- und Graupeln-Bildung erfolgen kann, keine andere mit vielem Wasserdunst gesättigte befinden, kann die Hagelbildung nicht erfolgen, sondern es fällt dann bloſs Schnee und Graupelhagel. Eben diese Hypothese von zwei über einander befindlichen Wolken u. s. w. hat de Lüc früher aufgestellt[1], nachher aber selbst wieder zurückgenommen[2], als er in den Savoyischen Gebirgen einst ein starkes Hagelwetter unter sich sah, und dabei keine höhere Wolke zur Bildung des Kerns wahrnahm. Beiläufig wird dann noch die Meinung derjenigen widerlegt, welche annehmen, der Hagel entstehe dadurch, daſs groſse Regentropfen beim Herabfallen durch die Verdunstung

1 Recherches sur les Modif. de l'Atmosp. §. 714.
2 Idées sur la Météor. T. II. §. 642.

Digitized by Google

allmälig gefrören, wonach also der Proceſs gerade der umgekehrte des eben angegebenen seyn würde. Es streite nämlich dagegen der Umstand, daſs unmöglich in jenen Höhen Wassertropſen von solcher Gröſse entstehen, noch auch so tief herabfallen könnten, ohne zerstiebt zu werden, und auſserdem müſste die zuerst gebildete, das noch flüssige Wasser einschlieſsende, Eishülle dieser groſsen Tropfen später zerplatzen, weil das Eis bei seiner Entstehung ein gröſseres Volumen hat, als das ihn bildende Wasser. Zu diesen allerdings gegründeten Argumenten möchte ich noch ein neues hinzusetzen, nämlich daſs das Eis ein schlechter Wärmeleiter ist, so daſs unmöglich während des Herabfallens eines solchen anfänglich gebildeten Hagelkorns durch die zuerst entstandene Eiskruste soviel Wärme ausströmen könnte, als erforderlich wäre, um die ganze Masse in Eis zu verwandeln, und so würde um so eher der vom Verfasser des Artikels angegebene Fall eintreten, daſs man zuweilen solche nicht ganz gefrorene Hagelkörner fände, wovon nirgend ein Beispiel vorkommt. Uebrigens könnte Delcros das Zerplatzen der von ihm angenommenen groſsen Eiskugeln [1] als eine Folge der Ausdehnung des im Inneren später gefrierenden Wassers anzusehen geneigt seyn.

24. Daſs die Verdampfung des Wassers eine groſse Kälte erzeuge, dieses ist aus so zahlreichen Erscheinungen, insbesondere aus dem interessanten Versuche von Leslie so allgemein bekannt, daſs es keines weiteren Beweises bedarf, aber dennoch zweifle ich sehr, daſs sich die Bildung des Hagels hieraus allein erklären lasse, wollte man auch den Ort seiner Entstehung noch so hoch und die Luft daselbst noch so trocken annehmen. Setzt man unter mittleren Breiten seine Entstehung in 10000 F. Höhe, so ist der mittlere Barometerstand dort etwa 18 Par. Zoll und jedermann weiſs, daſs selbst über Schwefelsäure unter einem Recipienten bei einem solchen Barometerstande kein Wassertropfen in Eis verwandelt werden könnte [2]. Auſserdem aber wird hierdurch die Auflösung des fraglichen Problems nicht bedeutend weiter gebracht, denn die Entstehung des Kerns in den Hagelkörnern kann leicht erklärt werden, wenn man zugesteht, daſs die mit Dampf erfüllten Wolken bis zu solchen Höhen ge-

---

1 S. oben Nro. 5.

2 Vergl. Bellani in Brugnatelli Giorn. 1818.

langen, wo vereinigte Dunstbläschen durch die kalte Temperatur des Ortes ohnehin alsobald gefrieren müssen. Auf allen Fall kann man nicht umhin die Vergröſserung der Hagelkörner, also die eigentliche Bildung der so ausnehmend groſsen Eismassen während ihres Herabfallens geschehend anzunehmen, und dabei tritt dann die Frage ein, ob die bei diesem Herabfallen zugleich stattfindende Verdampfung ohne weitere Bedingungen hinreicht, die Verwandlung so groſser Wassermassen in Eis möglich zu machen; denn angenommen, daſs der Kern des Hagels in den oberen Regionen durch Verdampfung gebildet würde, so müſste er dann alsobald zu fallen anfangen, und also seine Vergröſserung gleichfalls erst auf seinem Wege zur Erde erhalten. Da die durch Verdunstung erzeugte Kälte wirklich sehr stark ist, so finde ich es sehr natürlich, daſs manche Physiker die Hagelbildung darauf zurückführen, um so mehr, als ich mich gelesen zu haben erinnere, daſs jemand Wassertropfen aus einer ziemlichen Höhe herabfallen lieſs, und sie gefroren am Boden ankommen sah. Allein dabei war die Temperatur mehrere Grade unter dem Gefrierpuncte, und gerade das Wesentlichste, nämlich die enorme Vergröſserung des entstandenen Hagelkornes fehlte. Bringt man die Frage auf möglichst genaue Zahlenbestimmungen zurück, welches allezeit ungleich besser ist als eine allgemeine Berufung auf die Wirksamkeit der Naturkräfte, so bedarf beim Gefrierpuncte ein Volumen tropfbar flüssiges Wasser 640° C. Wärme, um in Dampf aufgelöst zu werden, und macht zugleich 75° C. Wärme durch seine Verwandlung in Eis frei. Es ist also hiernach allerdings richtig, daſs im Verhältniſs von $\frac{640}{75} = 8,5 \ldots : 1$ die Eisbildung stattfinden, oder weniger als $\frac{1}{8}$ Wasser verdampfen wird, um ein als Einheit gegebenes Volumen desselben in Eis zu verwandeln. Denken wir uns indeſs die Hagelbildung ohne weitere mitwirkende Bedingung in der Hagelwolke und in dem Raume unter ihr vorgehend, wie aus der eben angegebenen Erfahrung des de Luc folgt, so ist die Wolke schon an sich über den Sättigungspunct mit Wasserdampf überladen, und es kann also in ihr keine Verdampfung mehr statt finden, wie trocken auch die Luft über derselben seyn mag, da ein so schnelles Aufsteigen des gebildeten Dampfes in die höheren Regionen, als dieses zur Erklärung des Processes erforderlich wäre, ganz undenkbar ist, hauptsächlich wenn man zugleich berücksichtigt, daſs das Hagelkorn

sogleich nach der Bildung seines Kernes zu fallen anfängt. Ohnehin aber würde, eine so starke Verdampfung an der obern Grenze der Wolke vorausgesetzt, diese vielmehr selbst aufgelöset werden, und überall keine Hagelbildung statt finden. Daſs aber die Luftschichten unter der Hagelwolke bis zur Erdoberfläche herab zuverlässig bis zur Temperatur des Gefrierpunctes mit Wasserdampf gesättigt sind, dieses wird schwerlich irgend Jemand in Abrede stellen, zumal da vor den Hagelwettern in der Regel eine sehr schwüle und feuchte Disposition der Luft herzugehen pflegt. Ist aber die Dichtigkeit des Wasserdampfes in der Atmosphäre diejenige, welche dem Gefrierpuncte des Wassers oder einer höheren Temperatur zugehört, so kann auch keine Aufnahme des von dem eiskalten Hagelkorne abgegebenen Dampfes stattfinden. Dieses Argument muſs indeſs richtig verstanden werden. Es ist nämlich allerdings gegründet, daſs ein Wassertropfen, gegen welchen wärmere und mit Wasserdampf mehr gesättigte Luft geblasen wird, als dem Gefrierpuncte zugehört, unter die Temperatur dieser Luft erkaltet wird, und so könnte man auch sagen, das Hagelkorn werde durch die Berührung mit stets wechselnden Luftschichten kälter; allein in dem angegebenen Falle wird der Wassertropfen bei zunehmender Verminderung seiner Temperatur stets kleiner, bei der Hagelbildung dagegen müſste er durch Verwandlung des in ihm als Wasser oder Eis enthaltenen tropfbar flüssigen Wassers in Dampf stets kleiner und kälter, durch Verwandlung des in der Luft enthaltenen Dampfes in Wasser oder Eis aber stets gröſser werden, und da beide Bedingungen einander aufheben, so folgt nothwendig, daſs eine Vergröſserung des Hagelkornes im Fallen durch die Luft unmöglich ist, folglich seine Bildung in der Wolke selbst vollendet seyn muſs, wobei dann aber das so eben geltend gemachte Argument, daſs diese an sich mit Wasserdunst übersättigt ist, wieder eintritt.

25. Von Humboldt[1] hat zwar keineswegs eine vollständige Theorie der Hagelbildung aufgestellt, wohl aber einige Vermuthnngen über dieses räthselhafte Phänomen mitgetheilt, welche, von einem so erfahrnen Naturforscher kommend, nicht unbeachtet bleiben dürfen. Vor allen Dingen ist es auffallend, daſs in der äquatorischen Zone in der Ebene des Meeresspiegels

1 S. Reisen d. Ueb. III. 465.

Digitized by Google

oder in geringer Höhe über diesem letzteren, etwa bis 1800 F., die Erscheinung des Hagelns gar nicht vorkommt. Will man also annehmen, daſs dieses von dem Schmelzen der Hagelkörner in den niederen Luftschichten herrührt, deren mittlere Temperatur indeſs im Sommer nicht höher ist, als unter höheren, dem Hageln unterworfenen Breiten, so scheint hieraus zu folgen, daſs die Hagelkörner im Augenblicke ihres Entstehens an den letzteren Orten gröſser sind, als an den ersteren. Von Humboldt bekennt indeſs, daſs uns die Bedingungen, unter denen das Wasser in einer Gewitterwolke in unserem Klima gefriert, noch zu wenig bekannt sind, um zu beurtheilen, ob die nämlichen auch unter dem Aequator in gleichen Höhen stattfinden. Zugleich bezweifelt er, daſs bei uns der Hagel allezeit in einer Luftregion gebildet werde, deren mittlere Temperatur = 0° C. sey, und deren Höhe bei uns im Sommer nur etwa 9000 bis 10000 F. betrage, vielmehr seyen die Wolken, worin man den Hagel zusammenschlagen höre, allezeit viel niedriger, und gerade in diesen niederen Höhen könne durch die Ausdehnung der aufsteigenden Luft, welche eben dadurch an Wärmecapacität zunimmt, eine auſserordentliche Kälte erzeugt werden, welche noch obendrein durch die Wärmestrahlung aus der oberen Wolkenschicht einen bedeutenden Zuwachs erhalte.

Ueber diese letztere Hypothese, nämlich eine Strahlung der Wärme nach dem leeren Himmelsraume, habe ich mich schon wiederholt erklärt, nämlich daſs sie für unzulässig zu erklären sey, weil wir kein Beispiel haben, daſs ein Körper durch Strahlung, noch obendrein im hellen Sonnenscheine und bei der groſsen Intensität der Sonnenwärme in der dünneren Luft der höheren Regionen[1] unter die Temperatur der Umgebung herabsinke, und obendrein ist dieselbe alsobald unmöglich, als die Undulationstheorie des Lichts die Oberhand erhält, wozu es in diesem Augenblicke sehr den Anschein hat. Daſs aber die durch die Ausdehnung der aufsteigenden Luft absorbirte Wärme eben diese Luftmassen nicht auf eine tiefere Temperatur herabbringe, als diejenige der Regionen ist, in welche sie sich erhebt, dieses glaube ich gleichfalls durch überwiegende Gründe nachgewiesen zu haben[2], auch folgt es schon ganz einfach aus

1 S. *Erde.* Th. III. S. 144.
2 S. *Erde.* Th. III. S. 1038.



Digitized by Google

dem Argumente, daſs wir im entgegengesetzten Falle keine wärmere Luftschichten in gröſseren Höhen haben könnten, deren Existenz unmöglich geleugnet werden kann. Hiernach erscheinen daher auch diese beiden angegebenen Bedingungen als unzulässig zur Erklärung des vorliegenden Problems. Auch Bellani [1] leitet die Kälte, welche die Bedingung der Hagelbildung ist, von einer starken Expansion der Luft ab, allein diese soll nach ihm eine Folge der Elektricität seyn, ohne daſs jedoch zugleich angegeben wird, auf welche Weise diese Ursache jene Wirkung herbeiführen könne.

26. Der scharfsinnige L. v. Buch [2] stellt eine Hypothese auf, welche in ihren Hauptelementen Folgendes besagt. Der Hagel entsteht dadurch, daſs über stark von der Sonne beschienenen und daher sehr erhitzten Gegenden starke Strömungen von Luft und Dampf bis zu beträchtlichen Höhen aufsteigen, aus denen Wassertropfen niedergeschlagen werden, welche beim Fallen so viel mehr verdunsten, je mehr sie aufsteigenden Luftströmungen begegnen, wodurch sie sehr erkalten, gefrieren und dann im Fallen durch die Aufnahme des Wasserdunstes der Wolken vergröſsert werden. In dieser Ansicht liegt gewiſs viel Wahres, weswegen ihr auch Schübler [3] beitritt; indeſs scheinen mir gegen die so groſse erkältende Wirkung der aufsteigenden, als warm und feucht so eben angenommenen Luftschichten aus den oben mitgetheilten Gründen bedeutende Zweifel hervorzugehen. Indem es nun gewiſs höchst schwierig ist, dieses Problem völlig befriedigend zu erklären, so erlaube ich mir folgende Hypothese darüber mitzutheilen, welche im Wesentlichen auch schon von Franklin [4] und Cotte [5] aufgestellt ist.

27. Zuvörderst sind die im Frühjahre so häufigen Graupelschauer durchaus nicht schwer zu erklären, indeſs bereitet ihre Erklärung diejenige vor, welche sich von der eigentlichen Hagelbildung geben läſst. Sie finden nämlich am häufigsten dann statt, wenn der Erdboden noch die Winterkälte hat, aber durch die Strahlen der höher emporkommenden Sonne oberfläch-

---

1 Brugnatelli Giorn. T. X. p. 359.
2 Denkschr. der Berl. Ges. d. Wiss. Jahrg. 1818. S. 73.
3 Schweigg. Journ. N. F. XIV. 229.
4 Manch. Mem. II. 357.
5 Journ. génér. de France. 1788. Nr. 95.

Digitized by Google

lich bedeutend erwärmt wird, so daſs eine nicht unbeträchtliche Menge Wasserdampf in die höheren Regionen aufſteigt, wo noch im Ganzen die kalten winterlichen Luftströmungen herrschen. Einen sehr auffallenden Beweis dieser noch vorhandenen gröſseren Kälte giebt der Umstand, daſs die Nächte dann noch meistens sehr kalt sind[1], und daſs man sowohl am Thermometer als auch an sich eine empfindliche Kälte wahrnimmt, sobald die Sonne durch die dann gewöhnlichen dicken Wolken nur momentan etwas verdunkelt wird. Wegen der im Ganzen herrschenden kalten und trocknen Luft, welche sich im Frühjahre oft auch dann ankündigt, wenn die unteren Luftschichten durch die kräftige Wirkung der anhaltend bei heiterem Himmel erwärmenden Sonnenstrahlen eine höhere Temperatur annehmen, ist die Verdampfung des Wassers von der Erde bei den vorherrschenden Graupelschauern bedeutend stark, und erklärt die bekannte Erfahrung, daſs bei den häufig und zuweilen mehrmals an einem Tage wiederkehrenden Regenschauern der Boden leicht Trockenheit zeigt, und die Vegetation, insbesondere in sandigen Gegenden, nur langsam fortschreitet; denn vieles Wasser geben solche Strichregen insbesondere im nördlichen Deutschlande nicht. Die mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten steigen dann durch ihr geringeres specifisches Gewicht als Folge theils ihrer Erwärmung, theils ihres groſsen Dampfgehaltes in die Höhe, und werden wegen der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit der Luft nicht eher abgekühlt, als bis sie durch einen Windstoſs oder das Eindringen der umgebenden kälteren Luftschichten in ihre Masse, bewirkt durch einen partiellen Niederschlag oder eine sonstige Ursache, mit den kältern Luftschichten gemengt sind. In dem Augenblicke, wenn dieses geschieht, erfolgt eine Vereinigung des Wasserdunstes zu Regentropfen, oder zusammenballenden Schneeflocken, welche in der kalten umgebenden Luft zusammensintern, und je nach dem quantitativen Verhältnisse und der niederen Temperatur der beigemischten kalten Luft wird aller Wasserdunst in Graupeln und Schnee, oder Graupeln allein oder Graupeln mit nachfolgendem Regen verwandelt, die ganze Wolke und mit ihr durch Raum-

1 In solchen Zeiten sind Nachtfröste sehr häufig und am meisten zu fürchten, wenn nach den Graupelschauern der Himmel am Abende heiter wird.

Digitized by Google

verminderung, als Folge des niedergeschlagenen Dampfes, die obere kalte Luftschicht senkt sich herab, es entsteht ein kurzdauernder, nicht sehr heftiger Sturm, oft bloſs ein starker Wind, und weil die gefrornen Theile unterwegs nicht lange genug und in nicht sehr erwärmten Luftschichten verweilen, so kommen sie ungeschmolzen auf die Erde; die erleichterte Wolke hebt sich wieder, kann aufs Neue Dampf anziehen und den beendigten Proceſs mehrmals wiederholen. Hieraus erklärt sich leicht, warum Graupeln auf hohen Bergen und bei milder Witterung im Winter so häufig sind. Solche Schauer sind allezeit stark elektrisch, liefern aber nur dann einen oder einige wenige Blitze mit starkem Donner, wenn sie bedeutend groſs sind und der Niederschlag nebst dessen Gefrierung schnell erfolgt, weswegen dann auf das Graupeln meistens ein starkes Schneegestöber folgt.

28. Der Proceſs der Hagelbildung muſs wohl im Ganzen dem angegebenen ähnlich seyn, allein er erfolgt unter anderen Bedingungen und mit verschieden modificirten Erscheinungen. Zuerst kann man gegen Hagelwetter absolut oder im hohen Grade sicher seyn, so lange der Wind lebhaft wehet und die verschiedenen Luftschichten durch einander mischt, diese Sicherheit würde aber eine vollkommene seyn, wenn das Hagelwetter allezeit an demjenigen Orte und in denjenigen Luftregionen gebildet würde, worin seine Wirkungen zum Vorschein kommen. Es können indeſs in den unteren Luftschichten Bewegungen stattfinden, welche die oberen nicht afficiren, und auf gleiche Weise zeigt die Erfahrung, daſs schon gebildeter Hagel zuweilen durch heftige Sturmwinde noch Meilenweit fortgetrieben wird, ehe er im Fallen die Erde erreicht. Eine zweite, den Hagelwettern fast allezeit vorausgehende Witterungsdisposition ist eine für die Jahreszeit ungewöhnliche schwüle Hitze mit meistens hellem Himmel. Viele Kennzeichen machen es wahrnehmbar, daſs die Luft mit Wasserdampf völlig gesättigt ist, den sie entweder an dem Orte selbst aufgenommen hat, wo sie sich anhaltend ruhig oder in langsamer Bewegung befand, oder welcher aus entfernteren, meistens wärmeren und feuchten, Gegenden herbeigeführt wurde. Von diesem hohen Feuchtigkeitsgrade der Luft glaube ich auch hauptsächlich das unangenehme Gefühl ableiten zu müssen, welches die meisten Menschen vor einem starken Gewitter wegen gehemmter Ausdün-

stung empfinden. Daſs aber die sehr erwärmten und mit Wasserdampf übersättigten Luftschichten aufsteigen müssen, versteht sich von selbst, und da dieses über ausgedehnten Strecken geschieht, so erklärt sich hieraus das den Hagelwettern meistens vorausgehende und der Stärke derselben in der Regel proportionale Sinken des Barometers. Um die Wirkung dieser Ursache auf bestimmte Zahlengröſsen zurückzubringen, wollen wir die Ausdehnung der Luft durch Wärme ganz vernachlässigen, weil diese sich auch auf gröſsere Entfernungen erstrecken kann, und bloſs den Einfluſs des Wasserdampfes in Rechnung nehmen. Es sey zu diesem Ende die Höhe, bis zu welcher diese Wirkung sich erstreckt = 10000 F. nach der oben Nr. 25. mitgetheilten Annahme v. Humboldt's, und die Temperatur von dort an bis zur Erde von 0° bis 30° C. zunehmend; es ist ferner[1] die Dichtigkeit des Wasserdampfes für diese Temperaturen gegen Luft = 0,003005 und 0,023113, die Elasticität aber = 0,1282 und 1,0963, aus beiden das arithmetische Mittel also = 0,013059 und 0,6123. Das Product aus der Elasticität und Dichtigkeit genommen und mit der trockenen atmosphärischen Luft verglichen, giebt an, um wieviel die feuchte Luft leichter ist, und mit welcher Geschwindigkeit sie daher aufzusteigen strebt. Das Verhältniſs jener Gröſsen giebt 0,0002856, als um welchen Theil die mit Wasserdampf gesättigte Luft leichter ist, und wenn wir dann weiter mit genäherter Bestimmung annehmen, daſs die umgebenden Luftmassen nur bis zur Hälfte mit Wasserdampf gesättigt sind, so wird die eben gefundene Gröſse auf die Hälfte herabgehen. Die Geschwindigkeit, womit eine Flüssigkeitssäule in einer andern aufzusteigen oder herabzusinken strebt, wird aber nach der Formel $c = n\sqrt{4gh}$ gefunden[2], wenn c die Geschwindigkeit in 1 Secunde, g den Fallraum in derselben Zeit, h die verticale Höhe, alles in Pariser Fuſsmaſs, und n den Dichtigkeitscoefficienten bezeichnet. Setzt man für n den gefundenen Werth, g = 15 F. h = 10000 F. wie hypothetisch angenommen ist, so wird c = 0,1106 F. als diejenige Geschwindigkeit gefunden, womit die Luft aufzusteigen das Bestreben hat. Die hiernach aufgefundene Steigkraft der Luft, wenn wir dieses so nennen wollen, kann und wird in den bei

1 S. *Dampf*. Th. II. S. 386 u. 351.

2 S. unter *Heizung*. Nr. 31.

Digitized by Google

weitem meisten Fällen noch bedeutend vermehrt werden durch die in Folge erhöheter Temperatur stattfindende Ausdehnung; daſs sie aber nicht als wirkliche Bewegung realisirt werden könne, dieses versteht sich von selbst, weil sonst unter der angenommenen Luftsäule ein Vacuum entstehen müſste. Soll dieses Aufsteigen also wirklich stattfinden, so muſs unten von irgend einer oder von allen Seiten her die Luft zuströmen, und aus diesen Strömungen leite ich die einzelnen aufsteigenden, Staub, Kräuter u. s. w. mit sich nehmenden Wirbelwinde her, welche man zur Zeit der herrschenden Gewitter so oft wahrzunehmen pflegt und als Folgen der Elektricität ansieht, obgleich diese letztere die Körper geradlinig anzieht und abstöſst, auch kein Grund vorliegt, welcher plötzlich an irgend einer Stelle der Erdoberfläche so viele Elektricität zu erzeugen vermöchte, daſs dadurch nicht selten bedeutende Massen in die Höhe gehoben würden, indem sonst vielmehr die Elektricität aus der Luft sich über die Erdoberfläche zu verbreiten das Bestreben zeigt. Hieraus wird es dann endlich auch erklärlich, daſs in den unteren Regionen mäſsig starke Luftströmungen stattfinden können, obgleich in gröſseren Höhen über der Erdoberfläche eine gänzliche Ruhe herrscht.

29. Hiernach kann also ohne irgend einen, auch nur scheinbaren Gegengrund angenommen werden, daſs bedeutend erwärmte und mit Wasserdampf gesättigte Luftmassen allmälig zu beträchtlichen Höhen emporsteigen. Daſs solche in höheren Regionen oft wirklich vorhanden sind, ist übrigens nicht bloſse Hypothese, sondern Thatsache. Auſserdem, daſs gewiſs jeder aufmerksame Beobachter beim Ersteigen nur mäſsig hoher Berge oft bedeutend erwärmte Luftschichten, hauptsächlich des Abends, angetroffen hat, erwähnt Brandes[1] seine Wahrnehmungen solcher warmen Luftschichten durch die Strahlenbrechung in denselben, und eben diese bringen dann auch die Verdoppelung der Bilder in der Luft hervor, welche nicht selten bald an der einen, bald an der andern Stelle wahrgenommen wird[2]. Auf La Perouse's Reise fühlten sich die Matrosen im Mastkorbe wiederholt von glühend heiſsen Dünsten umgeben, welche wie-

1 Beobachtungen über die Strahlenbrechung. Oldenb. 1807. 4. S. 46.

2 Brandes a. a. O. S. 121. u. bei G. XVII. 176.

der verschwanden, aber nach 1,5 Minuten etwa wiederkehrten, und diesemnach in einzelnen Massen vorhanden seyn muſsten; es folgte eine Wetterveränderung auf dieses Phänomen [1], und auch GARNERIN berichtet, daſs er bei seinem aërostatischen Aufsteigen am 28sten Juni 1802 mit Capt. SNOWDON in den oberen Regionen sehr warme Luftschichten getroffen habe [2]. Was aber im Einzelnen so häufig vorkommt, kann auch im Groſsen noch leichter stattfinden, ohne deswegen oft beobachtet zu werden, und man darf daher das theoretisch so wohl begründete Aufsteigen der stark erwärmten und mit Dünsten überladenen Luftschichten über feuchten, mehrere Quadratmeilen einnehmenden Strecken immerhin als Thatsache annehmen. Wegen der schlechten Wärmeleitung der Luft können diese Massen nur an den Grenzen abgekühlt werden, in sich selbst aber werden sie die höhere Temperatur und den groſsen Gehalt an Wasserdampf beibehalten. Wie hoch solche Massen sich erheben ist zwar nicht genau bestimmbar, allein wenn die schwüle Hitze lange anhält und die Windstille längere Zeit dauert, so ist es kaum anders möglich, als daſs sie sich weit über die Schneegrenze, folglich in Gegenden erheben, deren mittlere Temperatur tief unter dem Gefrierpuncte liegt. Dabei ist keineswegs erforderlich, daſs diese Luftmassen ganz unbeweglich mehrere Tage stehen bleiben, vielmehr ist es aus vielen Gründen sehr wahrscheinlich und zur Erklärung der Phänomene nothwendig anzunehmen, daſs sie sich langsam über weite Strecken, und zuweilen in der Art bewegen, daſs an dem Orte der ursprünglichen Bildung stets neue solche Massen aufsteigen. Wie würde es sonst möglich gewesen seyn, daſs bei dem groſsen Hagelwetter im Jahre 1788 eine Strecke von mehr als 100 Lieues durch Hagel verwüstet wurde, wenn man voraussetzen wollte, die gesammte Menge sey aus einer einzigen fortbewegten Wolke herabgefallen, und nicht vielmehr, daſs die atmosphärischen Bedingungen zur Bildung einer so enormen Menge Hagels schon vorher über der ganzen Strecke verbreitet gewesen wären, in denen dann der Niederschlag schnell nach einander erfolgen muſste.

30. In diesen gewiſs nur allzuwohl begründeten Bedin-

1 Voyage autour du Monde. II. 389.

2 G. XVI. 26.

gungen liegen übrigens die sämmtlichen Elemente zur Erklärung der so oft untersuchten furchtbaren Naturerscheinung, wie die folgenden Betrachtungen näher nachweisen werden. Die so aufsteigenden Luftmassen müssen durch ihre Ausdehnung bei vermindertem Drucke von ihrer Temperatur allerdings verlieren, allein ihre Wärme bleibt allezeit gröſser, als die der umgebenden Luftmassen. Was vorerst den enthaltenen Wasserdampf betrifft, so sind die Gesetze seines Verhaltens zur Erzeugung der bekannten atmosphärischen Processe sehr geeignet. Zuvörderst kann der Wasserdampf nicht füglich in solche Höhen gelangen, daſs die Elasticität der Luft geringer wäre, als seine eigene; je höher derselbe aber gehoben wird, um so gröſser ist seine Menge im Verhältniſs zur Luft, da die Menge des in einem gegebenen Raume enthaltenen Wasserdampfes unter jedem Luftdrucke dieselbe ist[1]. Wird aber die Temperatur vermindert, so erfolgt dennoch keineswegs sogleich ein Niederschlag, wenn der Dampf nicht mit einem die Wärme leicht aufnehmenden dichten Körper in Berührung kommt, vielmehr kann sich derselbe lange bei einer hohen Temperatur erhalten, wie sich in Brauhäusern, Salzsiedereien u. s. w. zeigt, und hierauf beruhet hauptsächlich die hohe Wärme, welche nach obigen Angaben in höheren Regionen oft beobachtet ist. Sinkt die Temperatur herab, so wird die Dichtigkeit des Dampfes vermindert, und ein proportionaler Theil seiner freien Wärme zur Erzeugung dieser gröſseren Expansion verwandt[2], bis er für den gegebenen Raum und die vorhandene Wärme das Maximum der Dichtigkeit erreicht hat, welches diesemnach also bei fortgesetztem Aufsteigen nothwendig endlich überschritten werden muſs, wenn nicht stets hinzukommende trockene Luftschichten ihn aufnehmen. Nach überschrittenem Maximum der Dichtigkeit folgt dann aber nicht sogleich ein Herabfallen des wässerigen Niederschlags, sondern es entsteht Dunst[3], welcher sich in der Gestalt dichterer oder dünnerer Wolken eine geraume Zeit schwebend erhält, und die nachfolgenden Hydrometeore hauptsächlich bedingt. Schwieriger ist die Entscheidung der Frage, ob die aufsteigende und dadurch stets dünner werdende Luft

---

1 S. *Dampf.* Th. II. S. 403.

2 S. Ebend. S. 301.

3 S. diesen Art. Th. II. S. 644.

Digitized by Google

eben hierdurch kälter wird, als die in gleichen Höhen befindliche, oder ob sie wärmer bleibt. Es wird gewiſs mehrere Physiker geben, welche wegen der bedeutenden, durch Compression der Luft ausgeschiedenen, umgekehrt also durch ihre Expansion latent werdenden Wärme der ersteren Meinung zugethan sind, inzwischen habe ich schon im Art. *Erde* [1] aus überwiegenden Gründen dargethan, daſs die aus den niederen Regionen aufsteigende Luft durch Expansion nicht bis zu derjenigen Temperatur erkaltet, welche jener Region zugehört, wohin sie aufgestiegen ist. Wir müssen uns also denken, daſs die aus den angegebenen Gründen emporgehobenen Luftmassen sowohl oben als auch seitwärts von anderen kälteren umgeben sind, und sich in ihnen ruhend oder langsam bewegt erhalten, weil wegen Windstille keine Mengung derselben erfolgt, und sie wegen schlechter Leitung ihre Wärme an die Umgebung nicht abtreten. Diese hoch emporgehobenen Luftmassen sind dann das Materiale der Hagelwolken, ohne diese letzteren selbst zu seyn, welche allerdings weit niedriger angetroffen werden, und eben dadurch das ganze Phänomen so schwer zu erklären machen. Allmälig geben nämlich diese Luftmassen von ihrer höheren Wärme insbesondere an die sie begrenzenden höheren und sehr kalten Luftschichten ab, die feinsten Dünste werden niedergeschlagen, geben dem oberen, vorher dunkelblauen, Himmel ein trübes, milchiges Ansehen, und es erzeugen sich die in sehr groſsen Höhen befindlichen zarten und flockigen Wolken, welche zuweilen schon einige Tage vorher Vorboten der Gewitter sind. Da ferner diese Magazine für die Hagelwolken über ausgedehnten, selbst hundert und mehrere Hunderte von Quadratmeilen einnehmenden Strecken sich befinden, so muſs das Barometer örtlich allmälig sinken, weil die Luftmassen, vermöge ihrer Leichtigkeit, das Bestreben haben, in die Höhe zu steigen, ohne daſs dennoch bei ihrer Elasticität die umgebenden Luftmassen in sie eindringen, und das Entstehen der Winde veranlassen.

31. Der hier beschriebene Zustand, eigentlich ein unnatürlicher, dauert längere oder kürzere Zeit, zuweilen mehrere Tage, und es sind so viel schwerere Gewitter zu erwarten, je länger die Dauer desselben ist. Verschiedene Ursachen können

---

1 S. Th. III. S. 1048 ff. hauptsächlich S. 1064. N. 8.

Digitized by Google

die Aufhebung desselben herbeiführen, welche ohnehin einmal nothwendig erfolgen muſs, und je rascher und gewaltsamer diese Katastrophe herbeigeführt wird, desto verheerender müssen die Wirkungen des in Hagel verwandelten Dampfes seyn. Nachdem nämlich an der oberen Grenze der angenommenen Luftmasse schon einiger Niederschlag erfolgt ist, wie aus der Trübung der Atmosphäre in jenen bedeutenden, bis 18000 ja bis mehr als 20000 F. hinaufgehenden Höhen und den daselbst gebildeten feinen Wolken ersichtlich wird, so muſs durch die hieraus folgende Raumesverminderung ein Herabstürzen der oberen, empfindlich kalten Luftschichten herbeigeführt werden. Wie hoch die mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten hinaufgestiegen seyn mögen, ist zwar noch in keinem bestimmten Falle durch die Erfahrung ausgemittelt, allein wir besitzen Thatsachen genug, welche mindestens genäherte Bestimmungen zulassen. Denken wir uns vorerst die ganz feinen, gleich beim Anfange des Niederschlags entstandenen Wolken in der angegebenen Höhe, so befinden sie sich in einer Temperatur von — 20° C., wenn man mit v. Humboldt unter den mittleren dem Hagel ausgesetzten, Breiten, also etwa in unsern Gegenden den Gefrierpunct in 10000 F. Höhe setzt, und dann für 100 Toisen 1° R. Wärmeverminderung annimmt[1], was gewiſs für jene Höhen eher zu wenig, als zu viel ist. Daſs sich aber in so niederer Temperatur Wasserdampf als solcher befinden, daſs er aus dem schon gebildeten Eise durch Verdampfung entstehen und an einem anderen Orte wieder in Eis verwandelt werden könne, ist durch Beobachtung gegeben. Man weiſs nämlich nicht bloſs, daſs das Eis bei jeder auch noch so geringen uns bekannten Temperatur verdunstet, sondern ich selbst sah einst den Dunst von Eis bei — 8°,75 C. sich an eine bis — 10° C. erkältete Fläche zuerst in tropfbar flüssiger Gestalt anlegen, und unmittelbar danach gefrieren[2], und auſserdem beweisen die in der grimmigen Kälte der Polargegenden gebildeten Eiskrystalle, welche bei übrigens heiterem Himmel den Staubschnee erzeugen und die Entstehung der Nebensonnen bedingen, die Möglichkeit der Schnee- und Eis-Bildung in der möglichst niedrigen

---

1 S. *Erde*. Th. III. S. 1019.

2 Meine Physikal. Abhandl. Gieſs. 1816. S. 112. Vergl. ebend. S. 64.

Digitized by Google

Temperatur. Aus der von mir gemachten Beobachtung geht ferner hervor, daſs der niedergeschlagene Dampf bei einer Temperatur von 0° oder unter diesen nicht bloſs keineswegs sofort in Eis verwandelt werde, sondern daſs er sich auch noch in weit gröſserer Kälte eine kurze Zeit im tropfbar flüssigen Zustande erhalten könne, was mit andern Erfahrungen genau übereinstimmt, bis das hiernach gebildete Wasser gefriert, und das somit entstandene Eis, der hierdurch entbundenen Wärme ungeachtet, namentlich durch die unausgesetzte Verdampfung, sehr bald wieder auf die Temperatur der Umgebung herabgeht. In dem Augenblicke aber, als die Niederschläge des Dampfes erfolgen und die ersten Eiskrystalle gebildet sind, werden diese, insbesondere wenn sie in einer sehr kalten Umgebung auf eine niedrige Temperatur herabgehen, die ohnehin schon tief erkalteten Wassertheilchen anziehen und hierdurch an Volumen zunehmen, wobei namentlich die ersten schon gebildeten Schneekrystalle sich zu dem Kerne der Hagelkörner zusammenballen. Je rascher von nun an, und in je gröſserer Menge der Niederschlag erfolgt, um desto mehr wird der Raum der Luft vermindert, woraus sich das dann erfolgende plötzliche Fallen des Barometers erklärt. Es ist oben Nr. 28. angegeben, daſs der Sättigungszustand der Atmosphäre von 0° C. bis 30° C. eine Anwesenheit von Wasserdampf in derselben voraussetzt, dessen Menge 0,0002856 des gesammten Luftvolumens beträgt, und welchem eine Barometerhöhe von 0,6123 Z. entspricht. Ist dieser von der Erdoberfläche bis zu 10000 F. Höhe vertheilt, und gehört der ersteren Grenze 28 Par. Z., der letzteren 18 Z. Barometerhöhe zu, so ist für genäherte Bestimmungen das arithmetische Mittel hiervon = 23, und 0,6123 : 23 oder 0,02662 ist derjenige Theil, um welchen die Luftmasse durch den Niederschlag des in Dampfgestalt vorhandenen Wassers vermindert wird, wenn wir die Masse des letzteren als unbedeutend vernachlässigen. Es läſst sich demnach so ansehen, als würde aus der 10000 F. hohen Luftmasse eine Schicht von 266 F. Höhe weggenommen, und dadurch ein Sinken des Barometers um 0,6123 Par. Z. herbeigeführt. Weil aber ein Niederschlag des gesammten Wasserdampfes der Natur der Sache nach nicht erfolgen kann, das Barometer aber, wenn es auch vorher schon nach obiger Angabe um 0,6123 Z. gesunken war, bei der Hagelbildung dennoch zuweilen um eben so viel oder noch mehr sinkt,

Digitized by Google

so folgt hieraus, daſs die Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre die angenommene noch überſteigt, und er daher noch zu bedeutenderen Höhen, als die festgesetzte, aufgehoben seyn muſste. Es genügt indeſs, bei diesen hypothetischen Gröſsen einstweilen stehen zu bleiben.

32. Die angegebene Raumes-Verminderung afficirt aber sowohl die oberen als auch die unteren Luftmassen, und beide werden dadurch zur Bewegung sollicitirt werden, die ersteren herabzusinken, die letzteren aufzusteigen; beide aber werden durch ihre Trägheit diesem Antriebe widerstehen. Berücksichtigen wir diesen Effect in Beziehung auf die unteren Luftschichten allein, so hat dieses ein Sinken des Barometers zur Folge, nebst einem wirklichen Aufsteigen der unteren Luftschichten, wonach die Hagelkörner gleich nach ihrer Bildung nebst der Luft in die Höhe gehoben werden, und diesemnach länger in der kalten Umgebung verweilen, als auſserdem der Fall seyn würde, wenn sie sogleich beim Entstehen herabfielen. Eben dieses hat dann zur Folge, daſs in den unteren Schichten Luft von Auſsen herbeiströmt, um die aufsteigenden Massen zu ersetzen, eine Wirkung, welche sich durch die nach allen Seiten hin wehenden Winde vor dem eigentlichen Ausbruche des Hagelwetters ankündigt. Das Gewicht der unter den angezeigten Bedingungen stets wachsenden Hagelkörner nimmt zu, ihre Wolken, die sich nach der Richtung der in den unteren Regionen erzeugten Luftbewegungen bald hierhin, bald dorthin bewegen können, stets unter den verschiedenen Strömungen der stärkeren folgend, ohne daſs ihr Zug derjenige ist, welchen sie später nehmen, sinken zuletzt herab, ziehen diesem gemäſs die oberen Luftschichten nach sich, welche an sich kälter und schwerer dann wieder ein Steigen des Barometers veranlassen können und auch wirklich so oft veranlassen, daſs Einige dieses als eine beständige Erscheinung starker herannahender Gewitter betrachten. Die sehr kalten und trockenen oberen Luftschichten stürzen sich in die unteren, der Wind nimmt die Richtung von jenen an und wird aus begreiflichen Gründen zum Orkane [1], die Hagelkörner wachsen durch dieses Herabsinken der kalten Luft und die durch sie herbeigeführte Verdunstung, sie erreichen die Gröſse, die wir an ihnen bewundern, und gelangen auf den

---

1 Vergl. Art. *Wind*.

Digitized by Google

Erdboden, wenn gleich die ersten herabfallenden durch die bis zu einer mäſsigen Höhe über der Erdoberfläche noch dauernde Wärme ganz, die späteren bloſs an ihrer Oberfläche etwas schmelzen. Der Anfang dieses Herabfallens oder des wirklich ausbrechenden Hagelwetters geschieht da, wo die vorbereitenden Ursachen den stärksten Effect erzeugt hatten, also die meisten und schwersten Hagelkörner gebildet waren, weswegen auch die zuerst getroffenen Gegenden die gröſste Beschädigung erleiden, die umgebenden Grenzen aber nur durch wenigen und kleinen Hagel heimgesucht werden, welcher auf weitere Entfernungen ganz verschwindet. Endlich bedarf es kaum einer Erklärung, warum die Hagelschauer allezeit so vorzugsweise nach der Länge ausgedehnt sind, indem dieses aus der Heftigkeit des entstehenden Sturmwindes und dem Zusammenflieſsen der umgebenden Luftschichten in denjenigen Raum, wo der Hagel zuerst herabzusinken anfängt, von selbst folgt.

33. Die auf anerkannte Thatsachen gestützte, hier mitgetheilte Erklärung eines so vielfach besprochenen Naturphänomens scheint mir völlig genügend, und ich wüſste nicht, welche Einwendungen dagegen vorzubringen seyn möchten. Daſs man diese ältere Ansicht aufgegeben und wieder zur Elektricität seine Zuflucht genommen hat, wie noch ganz neuerdings geschehen ist[1], geschah hauptsächlich aus zwei Gründen, nämlich zuerst, weil de Lüc und Andere die Hagelwolken in nicht so bedeutenden Höhen beobachteten und es allgemein bekannt ist, daſs sie nicht über hohe Berge wegzuziehen pflegen, und zweitens, weil nach einigen Beobachtungen die Luft in höheren Regionen sehr trocken gefunden ist. Rücksichtlich dieses letzteren Argumentes zeigen die den Gewittern vorausgehenden feinen Wolken in unglaublich groſsen Höhen gegen jede Einrede evident einen dort herrschenden, den Sättigungspunct mit Wasserdampf übersteigenden Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre, daſs aber die höheren und umgebenden Luftmassen sehr trocken sind, dieses ist eben der Hagelbildung vorzüglich günstig und wird in der aufgestellten Hypothese als nothwendige Bedingung der Verdampfung und dadurch erzeugten Kälte angenommen[2].

1 Bibl. univ. XXXIII. 51 ff.

2 Vergl. *Atmosphäre*. Th. I. S. 468.

Digitized by Google

Das erste Argument fällt aber von selbst weg, da wirklich gebildeter Hagel nie in groſsen Höhen angenommen wird, sondern nur die Elemente desselben, nämlich tief unter dem Gefrierpunct erkalteter Wasserdunst, welcher herabsinkt, die sehr kalten Luftmassen der höheren Regionen nach sich zieht, und daher erst in der Tiefe sich zu den groſsen Eismassen vereinigt. Diejenigen, welche annehmen, der Hagel entstehe in den niedern Wolken aus den Bestandtheilen derselben, dürften in groſser Verlegenheit seyn, diese Hypothese auf das groſse, über sieben geographische Meilen sich erstreckende Hagelwetter in Hannover, oder gar auf dasjenige Hagelwetter anzuwenden, welches 1788 in zwei parallelen Streifen sich über mehr als hundert Lieues ausdehnte. Es ist ganz unmöglich, daſs alles hierzu erforderliche Wasser in einer solchen ruhigen Luftmasse enthalten seyn sollte, und obendrein hätte der allezeit bei groſsen Hagelwettern stattfindende Sturm gar keinen Grund, noch unmöglicher aber ist es anzunehmen, daſs eine einzige Wolke, durch den Wind bis auf 100 Lieues Entfernung fortgetrieben, alle jene Eismassen ausschütten sollte. Erklärlich werden diese Phänomene nur dadurch, daſs wir annehmen, die mit Wasserdampf übersättigten Luftschichten steigen in groſser Ausdehnung auf, werden durch schwache Luftströmungen, mitunter nur in den höheren Regionen, umgebogen, über weite Strecken fortgeführt, und erst dann, wenn ein Niederschlag in ihnen erfolgt, wodurch beträchtliche Raumverminderung herbeigeführt wird und die umgebenden Luftmassen eindringen, sinken sie herab und die Hagelbildung nimmt auf die angegebene Weise ihren Anfang. Bei weitem der schwierigste Theil derselben, nämlich die Erzeugung einer zur Bildung der groſsen Eismassen erforlichen Kälte, folgt aus den angegebenen Bedingungen von selbst. Bei dem Hagelwetter in Hannover sank das Thermometer, die höchste Temperatur des Tages und die geringste nach dem Fallen des Hagels gerechnet, von 25° R. bis 5° R. herab, und wenn man also annimmt, daſs diese letztere nach dem Phänomene der unteren Luftschicht zugehörte, dann aber für jede 100 Toisen Erhebung 1° R. Wärmeverminderung rechnet, so kommen auf 10000 F. Höhe, als wohin man die ersten Elemente der Hagelbildung zu setzen keinen Anstand nehmen wird, 16°,7 R. Temperaturverminderung, wonach in jener Höhe die Wärme — 11°,7 R. betragen muſste. Man wird hiergegen nicht

einwenden, daſs diese Temperatur erst nach der Hagelbildung stattfinde, welche vielmehr derselben habe vorausgehen müssen; denn wenn der Hagel herabgefallen ist, und die kälteren Luftmassen, in denen er gebildet wurde, mit ihm herabgesunken sind, dann erst lernen wir die Temperatur kennen, in welcher seine Elemente so sehr abgekühlt wurden, daſs sie sich zu solchen Eismassen vereinigen konnten, und hierzu scheint mir die angenommene Kälte allerdings hinreichend, obgleich aus der gegebenen Darstellung folgt, daſs die ersten Keime in noch kälterer Luft gebildet und dadurch fähig werden können, von den ohnehin schon sehr kalten Wasserpartikeln eine groſse Masse durch Gefrieren um sich zu vereinigen. In diesen Bedingungen liegen dann ferner die Gründe, warum es unter dem Aequator in einer Höhe von 1800 F. über der Oberfläche des Meeres nicht hageln kann. Dort herrscht nämlich zuerst der beständige Ostwind, welcher nebst der stärkeren Abkühlung durch die längeren Nächte und dem steten regelmäſsigen Aufsteigen der erwärmten Luftschichten eine zur Hagelbildung erforderliche Stagnation der Luft nicht gestattet. Sollte aber durch hohes Aufsteigen der mit Dampf gesättigten Luftmassen die Hagelbildung wirklich eingeleitet und in hohen Regionen Hagel schon gebildet seyn, so sind die begrenzenden Luftschichten viel zu warm und die zwischen den in der Höhe erkalteten Luftschichten und der Erde liegenden Luftmassen viel zu groſs und zu sehr mit Wasserdampf erfüllt, als daſs sie durch die herabsinkenden so weit abgekühlt werden könnten, um bei ihrem hygrometrischen Zustande und der dadurch unmöglichen starken Verdampfung den entstandenen Hagel nicht zu schmelzen. In höheren Breiten dagegen kann durch die Einwirkung der Sonnenstrahlen die mittlere Temperatur allerdings derjenigen unter der Linie gleich kommen, ohne daſs die Wärme der Luftschichten bis zu einer so bedeutenden Höhe reicht, auch sind die angrenzenden Luftmassen kälter und erniedrigen durch ihr Zuströmen die Temperatur mehr, als dieses unter der Linie möglich ist. Endlich bleibt unter höheren Breiten der Erdboden, namentlich in bergigen und Wald-Gegenden, schon durch das aufgenommene Schneewasser selbst im höchsten Sommer bedeutend kälter, und wenn daher gleich die Erdoberfläche und die sie berührenden Luftschichten sehr heiſs werden, so kann doch ungleich leichter eine Abkühlung dadurch erfolgen,

daſs der kältere Erdboden die Wärme sehr schnell wieder anzieht[1].

Manche Nebenbedingungen und zufällig begleitende Umstände der Hagelbildung glaube ich nicht besonders in die ohnehin ausführliche Erklärung des Phänomens ziehen zu müssen. Dahin gehört, daſs die gröſseren Hagelkörner nach der angenommenen Theorie aus mehreren kleineren bestehen, deren Zusammensinterung von selbst erklärlich ist, ferner daſs statt runder Hagelkörner mit einem Kerne füglich auch bloſse Eisstücke entstehen können. Ueberhaupt kann der ganze Proceſs in längerer, füglich aber auch in sehr kurzer Zeit geschehen, und endlich ist es gewiſs oft der Fall, daſs sich unter der Luftschicht, worin die Hagelbildung vor sich geht, noch eine andere befindet, welche daran keinen Antheil nimmt, wie denn endlich auch die ersteren aus ziemlich groſser Entfernung mit langsamerer oder schnellerer Luftbewegung an denjenigen Ort gelangen können, wo das Hagelwetter zum Ausbruche kommt. Alles dieses und mehreres andere versteht sich ohne weitere Erläuterung so ziemlich von selbst, auch bemerke ich bloſs im Allgemeinen, daſs die Elektricität Wirkung und nicht Ursache der Hagelbildung ist[2]. *M.*

## Hagelableiter.

### Paragrêle; *Paragrele, Protector from Hail.*

Welchen unermeſslichen Schaden groſse Hagelwetter anrichten, dieses ist so ziemlich einem jeden aus eigener Erfahrung mehr oder minder genau bekannt, und kann auſserdem aus den im vorausgehenden Artikel mitgetheilten Beschreibungen solcher Naturphänomene leicht geschlossen werden. Um statt vieler Beispiele nur eins zu wählen, will ich gröſserer Bestimmtheit wegen anführen, daſs nach amtlicher Schätzung bei dem einen groſsen Hagelwetter in Frankreich im Jahre 1788 der Schaden fast 25 Mill., bei den übrigen gleichfalls in Frankreich in demselben Jahre des Steuer-Erlasses wegen amtlich taxirten Ver-

---

1 Sollte einiges in dieser Theorie noch mangelhaft erscheinen, so wird dieses in den Artikeln *Regen*, *Wind* ergänzt werden.

2 Vergl. Art. *Gewitter*. Desgl. Brandes Beiträge zur Witterungskunde. Leipz. 1820. 8. S. 285 ff.

Digitized by Google

wüstungen durch Hagel aber noch über 8 Mill., also im Ganzen 23124486 Liv. betrug, wobei noch bemerkt wird, daſs diese Bestimmung weit unter dem wirklichen Betrage sey, weil die Landleute nicht geneigt seyn konnten, den Ertrag ihrer Felder nach seiner ganzen Gröſse anzugeben. Nichts ist daher natürlicher, als daſs man auf Mittel dachte, solchen Unglücksfällen vorzubeugen, und dieses um so mehr, je näher die Hagelwetter mit den Gewittern zusammenhängen, deren verderblichen Wirkungen auf Gebäude Franklin so sinnreich zu begegnen wuſste. In sofern es sich aber bei jedem Vorschlage zu Hagelableitern von einem Phänomene handelt, welches auf unwandelbaren Naturgesetzen beruhet, so kann vernünftiger Weise kein solcher bloſs nach eigenthümlichen Meinungen oder nach Gutdünken gemacht werden, mit der Forderung, daſs die Erfahrung erst entscheiden müsse, ob derselbe zweckmäſsig sey, oder nicht. Die bloſse Erfahrung ist ohnehin bei solchen zusammengesetzten und nach keiner bestimmten Regel in festgesetzten Terminen erfolgenden Naturerscheinungen ein höchst unsicheres Prüfungsmittel, insofern wir Fälle in Menge haben, daſs manche Gegenden oft in nahen Perioden wiederholt durch Hagel heimgesucht wurden, und später ohne irgend einen aufweisbaren Grund viele Jahre verschont blieben. Wollte man also schlieſsen, dieses sey der Erfolg irgend eines des bloſsen Versuchs wegen angewandten Mittels, so wäre dieser Schluſs höchst fehlerhaft, und man müſste namentlich in dem oben Art. *Hagel* Nr. 12 angeführten Falle annehmen, die Hagelwetter seyen durch Bannung von jenen Gegenden entfernt worden, was doch bloſs zum Scherze der leichtgläubigen Menge aufgebürdet war. Es läſst sich aber namentlich bei den Blitzableitern bis zur Evidenz darthun, daſs sie die beabsichtigte Wirkung, nämlich momentanen Schutz gegen einen Blitzschlag, hervorzubringen durchaus im Stande sind, und mit eben dieser Gewiſsheit kann gesagt werden, daſs keiner der vielen Vorschläge zur Abwendung des Hagels irgend einen Erfolg hervorzubringen vermag. Die natürlich wirkenden Schutzmittel, also mit Ausschluſs der hierher nicht gehörigen geweiheten Kräuter, Glokken, der geheiligten und Zauberformeln u. s. w. sollen auf eine dreifache Weise ihre Kraft äuſsern, entweder durch Entziehung der Elektricität, oder durch mechanische Erschütterung der Luftschichten, oder endlich durch einen chemisch zersetzenden Ein-

fluſs auf das Mischungsverhältniſs der atmosphärischen Luft. Bei den ersten wird vorausgesetzt, daſs die Elektricität eine Ursache der Hagelbildung sey. Aus den im Art. *Hagel* mitgetheilten Untersuchungen folgt aber, daſs sie vielmehr als eine Folge davon betrachtet werden müsse, wie denn auch manche Gewitter eine unglaubliche Menge Elektricität entbinden, ohne Hagelbildung zu zeigen. Gesetzt aber auch die Elektricität wäre zur Entstehung des Hagels unumgänglich nothwendig, so ist bekannt, daſs die Blitzableiter, wie viele deren auch in einer Stadt beisammen sind, ebenso wenig als die Baumspitzen der gröſsten Wälder, den Gewittern die Elektricität entziehen, sondern bloſs ihre Explosionen für den individuellen geschützten Ort durch Ableitung unschädlich machen. Endlich aber ist nach vielfachen Erfahrungen der Hagel oft ganz entschieden schon gebildet in der Wolke enthalten, und wird durch heftigen Sturmwind auf entfernte Strecken, selbst Stunden- und Meilenweit fortgeführt, kann daher unmöglich an denjenigen Orten durch Entziehung der El. wieder vernichtet werden, wo er seine Verheerungen anrichtet, und dieses Schutzmittel müſste daher eine Ausbreitung über ganze Continente und Inseln erhalten, ja sogar sich weit in das Meer hinein erstrecken, wenn die Wirkung desselben sicher seyn sollte, wonach aber jeder Vorschlag an der Unmöglichkeit der Ausführung scheitert. Die Schutzmittel der zweiten Classe, nämlich diejenigen, welche eine Erschütterung der Luft und eine Mengung der verschiedenen Schichten erzeugen sollen, als heftige Explosionen, ferner groſse Feuer auf Bergen, welche durch die Erhitzung der Luft aufwärts steigende Luftströmungen hervorbringen sollen u. dgl. versprechen ungleich sicherere Effecte. Es ist nämlich die Hagelbildung nach der aufgestellten wahrscheinlichsten Hypothese als eine Folge der ruhig aufsteigenden und zu sehr groſsen Höhen sich erhebenden, mit Wasserdampf gesättigten Luftschichten dargestellt, und somit ist es allerdings denkbar, daſs eine frühzeitig genug eingeleitete Mischung der ungleich erwärmten Luftschichten einen Stillstand der zur Hagelbildung erforderlichen Bedingungen eben so gut herbeizuführen vermögend seyn könnte, als dieses ohne Zweifel in vielen Fällen durch einen frischen Wind zu geschehen pflegt, so daſs also die Beispiele von Gewittern, welche auf diese Weise zerstört seyn soll, nicht ganz falsch seyn mögen. Da man aber von einer bevorstehen-

Digitized by Google

den Gewitterbildung nur sehr unsichere Vorzeichen hat, dabei aber nie mit Sicherheit voraus bestimmen kann, ob es zugleich ein Hagelwetter seyn werde, endlich aber durchaus den Ort, wo dasselbe gebildet wird, nicht voraus zu wissen vermag, bei der wirklichen Annäherung des Gewitters aber die Luftschichten ohnehin mehr erschüttert und in gröſsere Bewegung gesetzt sind, als menschliche Mittel dieses zu erreichen vermögen, so folgt hieraus nothwendig, daſs auch auf diese Weise keine Sicherung zu erlangen ist. Zur Erhaltung derselben würde erforderlich seyn, daſs man an allen schwülen Tagen über weiten Länderstrecken solche Explosionen oder groſse Feuer anwendete, welches einen gröſseren Aufwand erforderte, als der dadurch erreichbare Nutzen beträgt, und wobei es dennoch allezeit fraglich bleibt, ob die verhältniſsmäſsig immer noch kleinlichen Mittel gegen einen so ungeheueren Naturproceſs nicht zu schwach seyn würden. An eine chemische Einwirkung auf den Luftkreis in denjenigen Gegenden, wo die Hagelbildung vorgeht, wodurch der vorhandene Wasserdampf weggenommen, oder seine Verwandlung in Eis gehindert würde, ist gar nicht zu denken, und es ist daher überflüssig, hierfür weitere Gründe beizubringen. Insofern daher der Hagel sich erst dann zeigt, wenn er schon wirklich gebildet ist, dann aber kein Mittel gegen sein Herabfallen möglich ist, so fallen alle Vorschläge der Hagelableitung von selbst weg.

Nach diesen so völlig klaren und vollständig beweisenden theoretischen Argumenten ist eine nähere Prüfung der verschiedenen einzelnen Vorschläge für Hagelableiter überflüssig, und wenn ich dieselben dennoch hier kurz erwähne, so geschieht dieses theils des geschichtlichen Interesses wegen, theils um nachzuweisen, daſs mir die zahlreichen Scheingründe, welche man vielseitig für die einen und die andern aufgestellt hat, bei der Fällung jenes Urtheils keineswegs fremd waren. Es scheint mir dieses aber gegenwärtig um so nöthiger, da sich ganz kürzlich gegen alles Erwarten ein so lebhafter Streit über eine längst entschiedene Sache erhoben hat.

So viel mir bekannt ist, war Guenaut de Montbeillard[1] der erste, welcher 1770 in einer ausführlichen Abhandlung den

---

1 Journ. de Phys. XXI. p. 146. Mém. de l'Acad. de Dijon T. VIII.

Digitized by Google

Vorschlag that, den Wolken durch eine ganze Menge von Blitzableitern alle Elektricität zu entziehen und dadurch die Hagelbildung unmöglich zu machen. Eben dieses äuſserte auch Buissart aus Arras [1], und Guyton de Morveau hatte es unlängst als eine Folgerung aus seiner Theorie des Hagels aufgestellt [2], welcher nach ihm, übereinstimmend mit Mongez, durch die bloſse Wirkung der Elektricität gebildet werden sollte. Insbesondere aber theilt Bertholon [3] eine genaue Beschreibung der Construction solcher Hagelableiter mit. Um nicht bloſs dieses Mittel, sondern auch das in einigen Gegenden Süddeutschlands damals übliche Anzünden von Feuern auf hohen Bergen, das Abfeuern von Pöllern u. s. w. zu prüfen, gab die Baierische Akademie der Wiss. für das Jahr 1785 die Preisfrage über die zweckmäſsigen Mittel zur Abhaltung des Hagels auf, und krönte eine gelehrte, nachher wenig beachtete Preisschrift von P. Heinrich, worin alle diese Mittel als keineswegs völlig sichernd angegeben wurden [4]. Uebergehe ich die vielen einzelnen Aeuſserungen über die Zerstörung der Hagelwolken durch Vervielfachung der Blitzableiter, so verdient noch Seiferheld's Schrift [5] eine kurze Erwähnung. Dieser brachte bei einer Temperatur von — 13° R. Wassertropfen auf einen ersten Leiter und fand, daſs sie augenblicklich zu milchigem Eise gefroren, wenn ein el. Funke hindurchging. Man wird sich jetzt wundern, daſs man auf diesen Versuch den Schluſs bauen konnte, die Elektricität bilde den Hagel, da man doch bei einer Temperatur von — 13° R. nicht in Verlegenheit ist zu bestimmen, woher die Verwandlung des Wassers in Eis rühre. Inzwischen wurde hierauf der Vorschlag gegründet, an jedem Ende eines Ackers zwei eiserne Stangen an Pfählen mit Pech überzogen aufzurichten, die eine 3 die andere 20 F. hoch, damit jene den von der Erde auſsteigenden Dünsten, diese den Wolken die

1 Journ. de Phys. XXI. p. 140.

2 Journ. de Phys. IX. 60.

3 Electricité des Météores. Lyon 1787. T. II. p. 205.

4 Neue Abh. der Baiers. Akademie Bd. V.

5 Elektr. Versuch, wodurch Wassertropfen in Hagelkörner verändert worden, samt d. Frage an die Naturforscher: ist eine Hagelableitung ausführbar? Nürnb. 1790. 8. Vergl. Lichtenb. Mag. IV. 2. S. 189.

Elektricität entziehen möge. Daſs dieser Vorschlag nie in Anwendung gekommen sey, begreift sich leicht.

Weil die Hypothese, Hagelwetter könnten durch häufige Blitzableiter zerstört werden, immer noch viele Anhänger fand, so gab die Gesellschaft naturforschender Freunde in Berlin im Jahre 1800 die Preisfrage über den Nutzen dieses Schutzmittels auf. Die Verfasser beider Preisschriften, E. F. Wrede und C. S. Weiss, wovon der letztere den Gegenstand am umfangendsten und gründlichsten behandelt hat, stimmen darin zusammen, daſs auf keine Weise die Elektricität als Ursache der Hagelbildung anzusehen sey, und wenn sie dieses auch wäre, so sey es aus den oben von mir bereits angegebenen Gründen weder möglich noch dem beabsichtigten Zwecke entsprechend, wenn man den Hagelwolken dieselbe durch vervielfachte Blitzableiter entziehen wollte. Mit diesem wohlbegründeten Urtheile begnügte man sich seitdem, und fand es der Sache stets um so angemessener, je mehr die Begriffe über die Wirksamkeit der Elektricität erweitert und berichtigt wurden, allein es ergab sich in den neuesten Zeiten, daſs die Entscheidung der erfahrensten und berühmtesten Physiker noch immer das Urtheil der Menge nicht zu bestimmen vermag. Im Jahre 1820 nämlich trat La Postolle[1] mit seiner Empfehlung von Blitzableitern aus Strohseilen keck vor das Publicum, hoffte die Sachverständigen durch seine Dreistigkeit bei völliger Grundlosigkeit aller seiner Behauptungen verstummen zu machen, und pries die neue Erfindung zugleich als ein Schutzmittel gegen die Hagelschäden an. Wie indeſs der Vorschlag von den Physikern allgemein verworfen wurde, ist bereits im Art. *Blitzableiter*[2] erzählt, und hier kann daher nur noch des geschichtlichen Interesses wegen der Streit erwähnt werden, welcher sich seitdem zwischen denen erhoben hat, welche die Sache, wie billig, verwarfen, und denen, welche sie wider alles Erwarten in Schutz nahmen, indem sie von dem falschen Grundsatze ausgingen, der Vorschlag könne nur durch die Erfahrung geprüft werden. Obgleich aber diese in so weit sattsam darüber entschieden hat, als dieses der Natur der Sache nach möglich ist, und

1 Traité des parafoudres et des paragrêles en cordes de paille, cet. Amiens 1820. 8.

2 S. Th. I. S. 1086.

Digitized by Google

diesemnach die Stimme der Vertheidiger allmälig verstummt ist, so läſst sich doch bei der Lebhaftigkeit des darüber geführten Streites keineswegs mit Gewiſsheit behaupten, ob nicht noch manche im Vorurtheil befangene auch gegenwärtig beobachten, was sie finden zu müssen im Voraus die feste Ueberzeugung haben.

Die Commissarien des französischen Institutes, Charles und Gay-Lussac verwarfen gleich anfangs die von La Postolle vorgeschlagene und somit auch die späterhin ihnen von Thollard[1] nachgebildeten Hagelableiter aus Strohseilen an Stangen mit hölzerner Spitze und aus Strohseilen mit eingeflochtener leinener Schnur mit messingener Spitze gänzlich, und eben so Biot in seiner Beurtheilung derselben[2]. Dagegen aber nahm sich hauptsächlich die *Société Linnéenne* in Paris, die Societät der Agricultur von Bologna, die Gesellschaft für Naturwissenschaften im Canton de Vaud, die Weinbau-Gesellschaft in Lausanne, die königl. Agricultur-Gesellschaft in Lyon, die Agricultur-Gesellschaft in Genf, die akademische Gesellschaft in Savoyen und verschiedene andere der Sache an[3]. Einige von diesen setzten seit 1824 Preise aus, um Erfahrungen darüber zu sammeln, und wollen diese auch wirklich in Menge nicht bloſs aus Frankreich, sondern hauptsächlich auch aus Italien, der Schweiz und aus vielen Orten des südlichen Deutschlands erhalten haben, indem ihnen vorzüglich Thollard, Chavannes, Beltrami, Astolfi, Orioli, der Baron Crud, Saint-Martin, Lacoste und viele andere die günstigsten Erfolge ihrer angestellten Versuche meldeten[4]. Hauptsächlich gehört Orioli

---

1 Annales de l'Indust. nat. et étrang. 1823. Janv. p. 72.

2 Journ. des Savans. 1821. Mai. p. 287. Jene Commissarien sagten: Nous estimons, que cet objêt n'est point digne de l'attention de l'Academie.

3 Bibl. univ. XXXIII. 45.

4 Weitläuftiger Bericht hierüber in Annales de la Soc. Lin. de Paris. V. 171. wo sich zugleich eine Menge literärische Nachweisungen über hierher gehörige Erfahrungen finden. Frühere Abhandlungen sind mitgetheilt: Von Orioli in Feuille du Canton de Vaud. T. XII. von Chavannes in Bibl. univ. XXVIII. 34. von Saint-Martin et Lacoste Rapport à Mr. le Chev. de Pullini de St. Antonin cet. sur l'essai de paragrêlage cet. Chambéry. 1825. Thollard in Bibl. Physico-écon. 1823. Mars p. 164. Vergl. Edinb. Phil. Journ. N. S. N. V. p. 103.

unter die Vertheidiger des Vorschlags, giebt sich viele Mühe, das Urtheil der Pariser Akademie zu widerlegen, und meint, die Sache könne nur durch wiederholte Versuche entschieden werden[1]. Inzwischen getrauet er sich dennoch nicht, die Ableiter aus Strohseilen ernstlich in Schutz zu nehmen, meint aber die metallenen könnten zuweilen allerdings nützen[2], wodurch indeſs die ganze Sache wieder auf einen unlängst verworfenen Vorschlag zurückkommt.

Ungleich gröſser aber, als die Zahl der so wenig zuverläsſigen Erfahrungen für die Wirksamkeit der Hagelableiter ist die überwiegende Menge derjenigen, welche ganz bestimmt dagegen entscheiden. Unter andern versichert Riecke[3] nach einer Menge von Beobachtungen, daſs die Felder durch sie keinesweges geschützt wurden; nach v. Jacquin[4] haben sie ihre Kraft in Ungarn und Illyrien durchaus nicht bewährt; am meisten Aufsehen machte es aber, als die mit Hagelableitern auf das vollkommenste geschützten Weinberge des Canton de Vaud in der Nacht vom 22. auf den 23. Juli 1826 gänzlich verhagelten, während einige nicht damit versehene in der Umgegend verschont wurden[5]. Nicht ohne Grund findet es Arago[6] sehr auffallend, daſs die Vertheidiger dieser Hagelableiter sich dabei meistens auf Volta's Theorie der Hagelbildung berufen, da doch dieser berühmte Physiker ausdrücklich erklärte, die Gewitterwolken könnten auf keine Weise durch vermehrte Blitzableiter zerstört werden. Fresnel[7] verwirft sie gleichfalls aus theoretischen Gründen, und setzt sehr richtig hinzu, die Versuche zur Prüfung des Vorschlages seyen viel zu kostspielig, als daſs man sie bei der groſsen Unwahrscheinlichkeit irgend eines Erfolges an-

1 Brevi Considerazioni pella Risposta della celebre Accademia reale delle Scienze di Parigi. cet. Bologna 1826. 8.

2 Dei paragrandini metallici. Discorsi IV. di Fr. Orioli. Bologna 1826. 8. Auch Thollard meint gegen das Urtheil der Akademie, es könne bloſs das Experiment entscheiden; allein es wäre schlimm, wenn der Einfall jedes Thoren auf Staatskosten durch Versuche geprüft werden sollte.

3 Correspondenzblatt des Würtemb. Landwirths. Vereins. VII. 225.

4 Oestr. Beob. 1825. Nr. 265.

5 Bibl. univ. XXXIII. 50.

6 Annuaire présenté au Roi. Pour l'an 1829.

7 Ann. Chim. Phys. XXII. 303.

Digitized by Google

stellen könne, was mit Arago's Ansicht übereinstimmt, wenn er sagt[1], daſs die Versuche mindestens eine ganze Reihe von Jahren hindurch fortgesetzt werden müſsten, wenn man ein entscheidendes Resultat erhalten wolle[2]. Dieses ist nicht bloſs an sich zu berücksichtigen, sondern insbesondere auch aus dem Grunde, weil gewisse Gegenden nicht selten mehrere Jahre von Hagelwettern heimgesucht und nachher lange Zeit damit verschont werden. Selbst das sehr einleuchtende Argument, daſs es in Wäldern und Städten so oft hagele, obgleich in letzteren den Wolken ihre Elektricität durch die groſse Menge von Blitzableitern, Thurmspitzen u. s. w. ungleich besser entzogen werden müſste, als dieses durch die gröſste Zahl der Hagelableiter möglich seyn kann, da die letzteren sich der Stürme wegen nicht bedeutend hoch machen lassen, wollten die Landwirthe nicht gelten lassen, sondern verlangten Proben zu machen. Die Societät der Agricultur in Paris wandte sich daher an das Ministerium und wünschte Versuche im Groſsen angestellt zu haben, letzteres verlangte ein Gutachten der Akademie, und diese erklärte den Erfolg für die Gröſse des erforderlichen Aufwandes für viel zu ungewiſs. Inzwischen wurden von Privaten und in Italien auch von den Regierungen eine nicht geringe Menge von Versuchen angestellt, und wenn der Erfolg nur in einiger Hinsicht die gehegten Erwartungen zu bestätigen schien, so wurde dieses bekannt gemacht, wogegen man aus begreiflichen Gründen das Miſslingen sorgfältig verschwieg. Dennoch aber wurde es bekannt, daſs im Jahre 1826 die geschützten Felder eben so gut als die nicht geschützten verhagelten[3]. Während dem aber im südlichen Frankreich, in der Schweiz und Süddeutschland, im Waadtlande und hauptsächlich in Italien der Streit mit groſser Heftigkeit geführt wurde und viele vergebliche Proben nicht unbedeutende Kosten verursachten, folgte man im nördlichen Deutschlande, in England u. s. w. dem wohlgegründeten Urtheile der sachverständigen Physiker.

Indeſs lernte J. Murray[4] auf seinen Reisen viele von den-

---

1 Annuaire présenté au Roi. Pour l'an 1829.

2 Vergl. die ausführlichen Discussionen hierüber im Globe. 1826. 16. Mars; 11. Mai; 22. Juin.

3 Arago in Ann. Ch. Ph. XXXIII. 420. Vergl. Ann. de la Soc. Linnéenne. 1827. Jan. p. 580.

4 Edinb. Phil. Journ. N. S. Nr. V. 103.

Digitized by Google

jenigen Männern kennen, welche die Thollard'schen Hagelableiter vorzugsweise in Schutz nahmen, und wurde daher, so viel mir bekannt, der einzige, welcher dieses Hülfsmittel als unzweifelhaft sicher auch seinen Landsleuten empfohlen hat. Dabei beruft er sich auf den schon 1788 von Pinazzi in Mantua gemachten Vorschlag, die Hagelwetter durch vervielfachte Blitzableiter zu zerstören, dann auf die zahlreichen Erfahrungen, welche die oben genannten Männer in der neuesten Zeit hierüber gemacht haben wollen. Sie erstrecken sich aber nicht weiter als bis zum Jahre 1825, und gerade im folgenden entschieden so manche Verheerungen der geschützten Felder so sehr gegen die Zweckmäſsigkeit des Vorschlags, daſs die Hagelableiter von Stroh eben so wenig als die früher vorgeschlagenen von Metall jetzt noch in England Eingang finden werden; indeſs ist zu wünschen, daſs eine zu wiederholten Malen unlängst abgethane Sache künftig nicht abermals unnütze Discussionen und vergebliche Kosten veranlassen möge.

Zu einer mechanischen Zertheilung der Hagelwolken nahm man schon sehr früh seine Zuflucht. So berichtet Parent[1], daſs die Einwohner von Iliers bei dem groſsen Hagelwetter am 15. Mai ihre Glocken mit auſserordentlicher Gewalt läuteten, wodurch die Wolke dann zertheilt, und ihre Feldmark verschont seyn soll. Man ist jetzt allgemein der Meinung, daſs dieses Mittel zur Erreichung des beabsichtigten Zwecks viel zu schwach sey, auch ergiebt sich das Ungenügende desselben schon daraus, daſs die meisten nur geweihete Glocken hierzu für brauchbar hielten[2]. Daſs man früher und vielleicht an einigen Orten bis auf die jetzigen Zeiten herab glaubte, es sey gegen die Hagelwetter und die Gewitter überhaupt ein Hülfsmittel, Feuer auf den Herden anzuzünden, gehört gleichfalls in das Gebiet des Aberglaubens, denn dieses Vorurtheil ist wohl ohne Zweifel aus dem Wahne entstanden, daſs die verbrannten geweiheten Kräuter dem Hause einen Schutz gewähren könnten, und als dieser Aberglaube verschwand, hielt man das Anzünden des Feuers selbst für das wirksame Hülfsmittel, da vielmehr der Rauch den Blitzstrahl anzieht, auf das Gewitter im Ganzen

1 Mém. de l'Acad. 1703. p. 19.

2 Vergl. v. Zengen über das Läuten bei Gewittern. Gieſsen 1791. 8.

Digitized by Google

und insbesondere auf die Hagelwetter aber nicht den mindesten Einfluſs hat. Placidus Heinrich in seiner oben erwähnten Preisschrift läſst es unentschieden, ob die heftigen Erschütterungen der Luft durch das Abfeuern von Pöllern, Kanonen u. s. w. auf die Zerstreuung der Gewitter, und sonach auf die Abhaltung des Hagels einen Einfluſs haben können, ist indeſs mehr geneigt die Sache zu bezweifeln, als für gegründet zu halten. Denize aus Macon dagegen glaubte mit Gewiſsheit annehmen zu dürfen, daſs die Hagelwetter durch eine groſse Zahl Blitzableiter und durch starke Explosionen, als das Abfeuern von Kanonen und Pöllern, durch das Platzen des Knallpulvers, durch aufsteigende Racketen, durch dss Getöse der Glocken und Trommeln zerstreuet werden könnten, allein seine Gründe waren so wenig triftig, daſs die Akademie zu Dijon, welcher er seine Schrift überreichte, gar keine Rücksicht darauf nahm[1]. Späterhin kam die Sache nochmals zur Sprache, als Leschevin und der Marquis de Chevriers das Mittel des Abfeuerns von Kanonen wieder mit günstigem Erfolge in Anwendung gebracht haben wollten[2], allein wie unzulässig ihr Schluſs sey, daſs hierdurch die Hagelschäden abgehalten wären, weil sie bei der Anwendung desselben in oft verwüsteten Gegenden seltener wurden, da doch letzteres in jenen Jahren gerade zufällig seyn konnte, ist im Art. *Hagel* genugsam nachgewiesen, das Mittel selbst aber im Art. *Gewitter* bereits gewürdigt. Daſs eine heftige Lufterschütterung, wie sie z. B. bei Schlachten und Artillerie-Uebungen statt findet, diejenige Ruhe der Atmosphäre stören könne, welche zur Hagelbildung erforderlich scheint, findet P. Heinrich[3] allerdings in einigem Grade wahrscheinlich, und kann auf keine Weise als unmöglich erwiesen werden. Zugleich aber muſs man sich wohl hüten, aus der Erfahrung, wenn ein Gewitter bei einer solchen Gelegenheit vertheilt wird, den Schluſs zu entnehmen, daſs beides als Ursache und Wirkung zusammenhänge, da so oft ein anscheinend furchtbares Gewitter drohet, und ohne eine solche oder irgend eine bekannte Ver-

---

1 Mém. de l'Acad. de Dijon. 1803.

2 Magaz. encyclop. An. 1806. T. II. p. 1. Auch der Obrist Clabac theilte an Gilbert die Erzählung mit, wonach dieses Mittel sich von Erfolg zeigte. S. G. XXIV. 400.

3 G. XXVI. 219.

Digitized by Google

anlaſsung gleichsam wieder verschwindet, wogegen minder drohende in ihrem Verlaufe erst einen so ausnehmend verheerenden Charakter annehmen. Daſs das Mittel nicht allezeit, also nicht sicher dagegen helfe, dafür läſst sich die Erfahrung anführen, daſs einst unter Friedrich dem Zweiten ein groſses Artillerie-Manoeuvre, wobei auſserdem noch 36000 Mann Infanterie feuerten, ein heranziehendes Gewitter nicht überwältigen konnte[1]. Indem aber endlich schon oben gezeigt ist, daſs dieses Mittel praktisch durchaus keine Anwendung leidet, weil ein schon ausgebildetes Hagelwetter der Natur der Sache nach gar nicht mehr zerstört werden kann, die Theorie mit ziemlicher Gewiſsheit gegen dasselbe entscheidet, und die Resultate der Versuche allezeit sehr problematisch bleiben, so scheint es mir selbst nicht einmal der groſsen Kosten werth zu seyn, die Frage auf dem Wege der Erfahrung zu beantworten, ob eine Störung des Gewitterbildungsprocesses durch dieses Mittel möglich ist oder nicht, obgleich dieses in wissenschaftlicher Hinsicht von nicht geringem Interesse seyn würde.

Einige Physiker, namentlich Denize und Parrot[2], haben dem Pulverdampfe einen chemischen Einfluſs auf die Fähigkeit der Luft, Gewitter zu bilden, zugeschrieben. Die unbestimmten Aeuſserungen des ersteren sind oben gewürdigt, bei dem letzteren hängt aber die Behauptung mit einer eigenen Theorie der Verdunstung zusammen, und kann also erst bei der Untersuchung dieser in ihrem ganzen Umfange gewürdigt werden. In specieller Anwendung auf die Zerstörung der Gewitter läſst sich hier aber schon so viel sagen, daſs explodirendes Schieſspulver kein Sauerstoffgas entwickelt, folglich auch diejenige Wirkung in den oberen Regionen davon nicht erhalten werden kann, welche Parrot von einer Entbindung dieses Gases verlangt, und damit fällt dann der erwartete chemische Einfluſs jenes Mittels von selbst weg. Wäre es wirklich ausführbar, Racketen in diejenigen Regionen zu bringen, wo die Hagelwetter muthmaſslich gebildet werden, und könnte man sie dort zur Explosion bringen, so wäre es leicht möglich, daſs die mechanische Erschütterung nicht ohne Erfolg bliebe, allein auch bei diesem Mittel scheitert die Ausführbarkeit an unüber-

1 Salzburger phys. Journ. 1 Jahrg. Hft. 3.
2 G. X. 217.

Digitized by Google

windlichen Schwierigkeiten, welche aus der Natur der Hagelbildung von selbst hervorgehen, und wir sind daher in Beziehung auf die Mittel zur Abwendung dieses verheerenden Uebels noch nicht weiter als bis wohin die von P. Heinrich, Wrede und Weiss ausgesprochenen Urtheile reichen, nämlich daſs es kein sicheres und durch menschliche Kräfte ausführbares Mittel der Hagelableitung giebt. *M.*

## Halbkugel.

Hemisphäre; *Hemisphaerium*; Hémisphère; *Hemisphere*. Irgend ein gröſster Kreis auf der Kugel theilt die Oberfläche der Kugel in zwei genau gleiche Theile, deren jede also die Oberfläche einer Halbkugel ist. Die Ebene eines solchen Kreises geht durch den Mittelpunct der Kugel und theilt auch den körperlichen Inhalt der Kugel in zwei gleiche Halbkugeln. Für jeden vorzüglich merkwürdigen gröſsten Kreis auf der Himmels- oder Erdkugel giebt es daher zwei entgegengesetzte Halbkugeln. Der Aequator, am Himmel sowohl als auf der Erde, trennt die nördliche Halbkugel von der südlichen, der nördliche Pol steht in der Mitte der nördlichen Halbkugel, und ebenso der Südpol in der Mitte der südlichen. Der Horizont theilt die Himmelskugel in die sichtbare oder obere, und in die unsichtbare oder untere Halbkugel; das Zenith liegt in der Mitte jener, das Nadir liegt in der Mitte dieser.

Auf der Erde können wir uns 90 Grade von dem Puncte, wo wir stehen, einen gröſsten Kreis gezogen denken, der dann auch in Beziehung auf uns die obere und untere Halbkugel von einander trennt; unsere Antipoden wohnen in der Mitte der Oberfläche jener andern Halbkugel. Der Mittagskreis theilt die Himmelskugel in die östliche und westliche Halbkugel; in der Mitte jener liegt der Ostpunct, in der Mitte dieser der Westpunct. Auch die Ekliptik am Himmel theilt den Himmel in zwei Halbkugeln, alle Puncte in der einen haben nördliche Breite, alle Puncte in der andern haben südliche Breite.

Wenn die Sonne einen kugelförmigen Himmelskörper bescheint, so nennt man die gegen die Sonne gekehrte Halbkugel die erleuchtete, die von ihr abgekehrte die unerleuchtete; indeſs sind diese beiden Theile nicht genaue Halbkugeln, sondern

Digitized by Google

der von der Sonne erleuchtete Theil ist gröſser, als der unerleuchtete, weil die Sonne gröſser ist, als irgend einer der von ihr erleuchteten Himmelskörper[1].

Ebenso ist es nicht ganz richtig, wenn man den uns sichtbaren Theil eines Himmelskörpers, seine uns sichtbare Halbkugel nennt; denn da unser Auge nur ein Punct ist, so ist die Grenzlinie des uns sichtbaren Theils einer Kugelfläche nicht eigentlich ein gröſsester Kreis und wir übersehen etwas weniger als die Halbkugel. *B.*

## Halbleiter. s. Leiter.

## Halbschatten.

*Penumbra*; Pénombre; *Penumbra.*

Wenn ein leuchtender Körper auf einen dunkeln Körper Licht sendet, so wirft der letztere einen Schatten, und es sind alle die Puncte im vollen Schatten dieses Körpers, zu welchen gar kein Licht von jenem gelangt. Aber so wie es Puncte giebt, zu denen von keinem Puncte des leuchtenden Körpers ein Lichtstrahl gelangt, so giebt es andere Puncte, zu denen nur die Lichtstrahlen von einigen Theilen des leuchtenden Körpers gelangen, und diese liegen im *Halbschatten.* Der völlige Schatten besteht in gänzlichem Mangel an Erleuchtung; der Halbschatten hat in seinen verschiedenen Puncten sehr ungleiche Grade der Erleuchtung, je nachdem von einem gröſsern oder kleineren Theile des leuchtenden Körpers noch Strahlen zu diesen verschiedenen Puncten gelangen.

Da der Fall, daſs eine leuchtende Kugel einen dunklen Körper bescheint, derjenige ist, dessen Betrachtung in der Astronomie vorzüglich vorkömmt, so verdient er zuerst erwähnt zu werden. Es sey AB die Sonne, EF die Erde, so erhält man Fig. 6.
die Begrenzung des vollen oder Kernschattens, wenn man die Linie AE, BF hinter den Körper EF verlängert. In die Gegend zwischen ty gelangt kein Sonnenstrahl, oder ein dort stehendes Auge würde keinen Theil der Sonne sehen. Dieser volle Schatten bildet einen Kegel, wenn die leuchtende Kugel gröſser als die erleuchtete ist; dagegen ist er cylindrisch, für einen mit

1 Vergl. Art. *Schatten.*

dem leuchtenden Körper gleich groſsen dunkeln Körper, und er wird ein abgekürzter, gegen H zu und jenseits H sich immer mehr erweiternder Kegel, wenn der dunkele Körper eine gröſsere Kugel als der leuchtende ist. Die Grenze des Halbschattens findet man, wenn man die berührende Linie AF und BE hinter EF verlängert; denn in Puncten, die zwischen y und P liegen, wird zwar durch einige Puncte, aber nicht durch alle Puncte der gegen EF gekehrten Sonnen-Oberfläche eine Erleuchtung hervorgebracht. Je näher bei y man einen Punct im Halbschatten nimmt, desto schwächer ist die Erleuchtung, und da bei P die volle Erleuchtung anfängt, so erhellet, daſs der Halbschatten unmerklich in die gänzliche Erleuchtung übergeht. Der ganze Raum, in welchem der Halbschatten statt findet, ist allemal ein abgekürzter Kegel, wenn beide Körper kugelförmig sind[1].

Bei der Beobachtung des Schattens, welchen Körper auf der Erde auf eine gegebene Ebene werfen, kömmt auch ein Fig. 7. Halbschatten vor. Wenn man vom obersten Sonnenrande S eine gerade Linie über die Spitze des aufgerichteten Stabes AB bis auf die den Schatten aufnehmende Ebene DE zieht, so ist C das Ende des vollen Schattens; die Linie hingegen, die vom untersten Puncte der Sonne T über B nach c gezogen wird, begrenzt den Halbschatten. Ist die Höhe des unteren Sonnenrandes über dem Horizonte $= \alpha - \frac{1}{2}$ D, des oberen Sonnenrandes $= \alpha + \frac{1}{2}$ D, so ist

$$AC = AB.\ \text{Cotg.}\ (\alpha + \tfrac{1}{2}\ D);$$
$$Ac = AB.\ \text{Cotg.}\ (\alpha - \tfrac{1}{2}\ D);$$
$$Cc = AB.\ \frac{\text{Sin. } D}{\text{Sin. }(\alpha + \frac{1}{2}\ D).\ \text{Sin. }(\alpha - \frac{1}{2}\ D)}$$
$$= \frac{2\ AB.\ \text{Sin. } D}{\text{Cos. } D - \text{Cos. } 2\,\alpha}$$

Der Halbschatten nimmt also zu, wenn $\alpha$ kleiner wird und wird unendlich, wenn $\alpha = \frac{1}{2}$ D ist, weil dann der untere Sonnenrand den Horizont berührt. Dieser Halbschatten macht daher die Bestimmung der Sonnenhöhe aus der Länge des Schattens desto unsicherer, je geringer die Sonnenhöhe ist. Wenn man die Grenze des Halbschattens für jeden leuchtenden und erleuchteten Körper vollständig bestimmen will, so muſs man sich eine den leuchtenden und den erleuchteten Körper berührende

---

1 Vgl. Art. *Finsternisse.*

Digitized by Google

Ebene denken, und diese in alle mögliche Lagen, bei welchen die beiden Berührungen statt finden können, gebracht sich vorstellen; die krumme Fläche, welche dann aus den zwischen je zwei Berührungspuncten gezogenen geraden Linien gleichsam zusammengesetzt ist, oder die krumme Fläche, welche von jenen Ebenen in den so eben genannten Linien berührt wird, ist die Begrenzung des Schattens oder Halbschattens. Sie ist die Begrenzung des vollen Schattens, wenn die Berührung der leuchtenden und der erleuchteten Oberfläche an derselben Seite der Ebene statt findet; sie ist die Begrenzung des Halbschattens, wenn die Berührung der einen Oberfläche an der einen, der andern an der andern Seite der Ebene statt findet. Diese krummen Flächen, welche von der Tangential-Ebene allemal in einer geraden Linie berührt werden, und wo die Tangential-Ebene, indem man ihre Lage ein wenig ändert, eine der vorigen geraden Linie unendlich nahe gerade Linie berührt, gehören allemal zu den abwickelbaren krummen Flächen [1].

*B.*

## Harmonica.

Die **Glasharmonica** ist ein musikalisches Instrument, bestehend aus gläsernen Campanen, welche auf eine eiserne Axe gesteckt und diese mit einer Kurbel umgedrehet durch Reiben ihrer Ränder mit benetzten Fingern zum Tönen gebracht werden. Hierbei beruhet die Erzeugung der Töne auf den Schwingungen, welche man durch das Reiben in den Campanen erzeugt, und die Höhe der Töne, von der Gröſse der Campanen abhängig, auf der Länge der Schwingungsbogen. Beides wird im Art. *Schall* ausführlich untersucht werden, die mechanische Construction des Instrumentes aber ist sehr einfach und gehört nicht hierher.

**Chemische Harmonica** nennt man jede Vorrichtung, wenn man eine Flamme von Wasserstoffgas, welche an der Mündung einer Röhre brennt, in irgend einen geeigneten Canal leitet, wodurch dann ein eigenthümlicher summender Ton

1 Die höhere Geometrie führt zur Auflösung aller hierher gehörigen Aufgaben. Einige derselben habe ich in meinem Lehrbuche der höheren Geometrie 2 Theil §. 251 bis 260 und §. 529. 530. angeführt.



Digitized by Google

erzeugt wird. Die einfachste Methode, diesen in akustischer Hinsicht interessanten Versuch anzustellen, ist folgende. Man bereitet auf die bekannte Weise Wasserstoffgas aus Zinkstücken und Salzsäure oder verdünnter Schwefelsäure in einer Phiole, deren Hals durch einen Kork mit einem in denselben eingelassenen Pfeifenstiele von 6 bis 8 Z. Länge, oder einer oben zugespitzten, etwa 2 Par. Lin. weiten Glasröhre verstopft ist, so daſs das sich entwickelnde Gas durch die obere Oeffnung entweicht, zündet dasselbe an der oberen Mündung der thönernen oder gläsernen Röhre an, und stürzt einen gläsernen Kolben darüber, welchen man mit der Hand schwebend erhält, so wird
Fig. 8. der Ton hörbar. Die Entbindungsflasche A muſs eine verhältniſsmäſsige Weite haben, so daſs die erforderliche Menge Gas erzeugt wird, ohne daſs die Flüssigkeit in das Rohr c aufsteigt, zugleich aber darf sie nicht allzu geräumig seyn, damit keine zu groſse Menge atmosphärische Luft in ihr zurückbleibt, und mit dem Wasserstoffgas vereinigt Knallgas bildet, welches sonst beim Anzünden explodirt. Letzteres ist übrigens mit nur geringer Gefahr verbunden; denn wenn man eine Entbindungsflasche von starkem Glase, und einen guten Kork wählt, welcher für die geringe Spannung hinlänglich schlieſst, ohne zu fest hineingedrückt zu werden, so schleudert das explodirende Knallgas diesen ohne weiteren Verlust als den des hineingesteckten Rohres hinaus. Ohnehin aber ist auch dieses nicht leicht zu befürchten, sobald man das ausströmende Gas nicht zu bald entzündet. Wählt man zu dem Rohre c ein thönernes, den Stiel einer gemeinen irdenen Tabackspfeife, so saugt dieses einen Theil der Feuchtigkeit des Gases ein, welches im Ganzen vortheilhaft ist; indeſs leistet eine Glasröhre von zwei Lin. Weite, oben etwa bis zu einer halben Linie verengt, das Nämliche, wie man denn nicht minder sich auch einer metallenen Röhre bedienen kann. Uebrigens ist dieser Apparat nur für kurzdauernde Versuche berechnet; zur Anstellung von länger dauernden wählt man ein geeignetes Gasometer, welches eine gleichmäſsig anhaltende Ausströmung gewährt. Die Flamme des brennenden Wasserstoffgas darf weder zu groſs noch zu klein seyn, und muſs das Mittel zwischen 0,5 und 1,5 Z. Länge halten, wenn der Ton von hinlänglicher Stärke und Reinheit zum Vorschein kommen soll. Inzwischen wird dieses durch die Weite des Kolbenhalses D bestimmt, welcher die Gröſse der Flamme proportional seyn muſs.

Digitized by Google

Beträgt jene nur etwa einen Zoll, ſo muſs die Flamme kleiner ſeyn, weil ſie ohnehin ſonſt leicht erlöſcht, bei zwei Zoll Weite dagegen und darüber kann ſie wohl über zwei Zolle Länge haben.

Für die chemiſche Harmonica nimmt man in der Regel die Flamme des ſo reinen Waſſerſtoffgaſes als es auf die angegebene Weiſe erhalten wird, und nennt dieſe, wenn ſie ruhig brennt, *lumen philoſophicum.* Minder ſicher und helltönend iſt die Erſcheinung, wenn man andere brennbare Gasarten anwendet, als Kohlenoxyd-, ölerzeugendes, Kohlenwaſſerſtoff-, hydrothionſaures, Arſenikwaſſerſtoff-, Weingeiſt- und Aether-Gas. Zu den Gefäſsen, in welche die Flamme einen bis drei und auch wohl noch mehr Zolle hinein erhoben wird, eignen ſich am beſten die gläſernen Kolben, deren man ſich als Vorlagen bedient, ſtatt deren man indeſs auch oben verſchloſſene oder offene cylindriſche Röhren von Glas oder Metall oder einer ſonſtigen geeigneten Subſtanz wählen kann, jedoch dürfen die offenen nicht zu kurz ſeyn.

So wie der Verſuch hier beſchrieben iſt, kann er ſehr leicht angeſtellt werden, eignet ſich dann aber zu weiter nichts als bloſs dazu, um das Phänomen im Allgemeinen kennen zu lernen. Betrachtet man die Sache dagegen aus dem wiſſenſchaftlichen Geſichtspuncte, ſo kommt hauptſächlich dabei in Betrachtung zuerſt die Urſache, wodurch überhaupt das Tönen erzeugt wird, und zweitens die Bedingungen, auf denen die Höhe oder Tiefe und der Klang[1] der Töne beruhet. De Luc wird in Deutſchland faſt allgemein für denjenigen gehalten, welcher das Phänomen zufällig wahrnahm, als er das beim Verbrennen des Waſſerſtoffgaſes gebildete Waſſer in einen Kolben auffangen wollte[2], jedoch hat Higgins ſchon weit früher im Jahre 1777 die nämliche Erſcheinung beobachtet[3], und de Luc ſagt auch nicht, daſs er ſelbſt, ſondern daſs man vor Kurzem dieſe ſonderbare Entdeckung gemacht habe. Daſs dieſer Verſuch ſogleich nach ſeiner Bekanntwerdung vielfach wiederholt

---

1 Das Wort *Klang* wird hier in der Bedeutung genommen, daſs es überhaupt die individuelle Art des Tones bezeichnet.

2 Neue Ideen über die Meteorologie. I. 188. §. 200.

3 Nicholſon's Journ. of Nat. Phil. New Ser. I. 129. IV. 33. Vergl. Ann. Ch. Ph. VIII. 363.

wurde, lieſs sich erwarten, indeſs fand man es bei seiner Einfachheit nicht der Mühe werth, jede Beobachtung bekannt zu machen. In Deutschland erhielt die Erscheinung allgemeinere Bekanntschaft durch Hermbstaedt[1] und durch den Grafen Mussin Puschkin[2], welcher den Ton nicht von den Schwingungen des Glases herleitete, sondern annahm, daſs sich in jedem Zeitmomente Knallgas bilde und explodire, wobei dann die in unmeſsbaren Zeitintervallen einander folgenden Explosionen den anhaltenden Ton erzeugen müſsten. Eine gleiche Ansicht hegte Scherer[3], mit dem Unterschiede, daſs nach ihm durch die Explosionen das Glas der Kolben erschüttert werden, und hierdurch der Ton entstehen sollte. Mussin Puschkin führte indeſs hiergegen das Argument an, daſs man die Kolben umwickeln könne, ohne dadurch die Entstehung des Tones zu hindern. Um dieses zu prüfen, stellte Ssherer[4] eine neue weitläuftige Reihe von Versuchen an, bediente sich zum Aufnehmen der Flamme der verschiedenartigsten Gläser, als offener und verschlossener Röhren, Vorlagen, Kolben, Flaschen sowohl runder als kantiger, ja sogar gemeiner Medicingläser mit nicht zu enger Oeffnung, und fand es allerdings bestätigt, daſs das Umwickeln derselben mit vielen Leinen und sonstigen, die Schwingungen des Glases hindernden Substanzen das Hervorbringen des Tones nicht aufhebe. Nach ihm entstehen die Töne durch das Vacuum, welches vermöge des Verbrennens des Wasserstoffgases mit Absorption von Sauerstoffgas in den gläsernen Gefäſsen hervorgebracht wird, und in welches die äuſsere Luft dann mit so viel gröſserer Gewalt eindringt, je enger die Oeffnung des Glases ist.

F. F. Chladni[5], so classisch in allen seinen Untersuchungen der Schalllehre, stellte bald nach Bekanntwerdung des Phänomens eine groſse Reihe von Versuchen an, und entschied in Gemäſsheit derselben, daſs der Ton nicht durch das Gefäſs erzeugt werde, worin die Flamme des Wasserstoffgases

---

1 V. Crell's chem. Ann. 1793. I. 355.

2 Göttling's Taschenb. f. Scheidekünstler. 1795. S. 18.

3 Gren's Journ. VIII. 375.

4 Gren's N. Journ. II. 506.

5 Neue Schrift. d. Ges. Nat. Fr. Berlin 1795. I. 125. Hindenburg Archiv d. reinen u. angewandten Math. 1794. I. S. 126.

Digitized by Google

brennt, weil dasselbe von Holz, Metall oder Glas seyn, an jeder Stelle festgehalten werden könne, und der Ton ein anderer sey, als die Schwingungen desselben erzeugen würden. Der tönende Körper ist diesemnach die Luftsäule im Innern des Gefäſses, und die Höhe des Tones beruhet auf den bekannten Schwingungsgesetzen der Luftsäulen in Röhren, Pfeifen u. s. w. Ein entscheidender Beweis hierfür liegt schon darin, daſs der erzeugte Ton der nämliche ist, als wenn man in das angewandte Gefäſs hineinbläst, und das Verbrennen des Wasserstoffgases setzt also die Luftsäule auf die nämliche Weise in Schwingungen, als dieses bei den Blaseinstrumenten auf mancherlei Art geschieht. Daſs das Verbrennen anderer Substanzen, z. B. eine brennende Kerze, nicht auf gleiche Weise Töne erzeugt[1], dieses rührt daher, weil dabei das Zuströmen des Wasserstoffgases fehlt.

Ungleich weniger klar, als diese Darstellung, ist diejenige, welche de la Rive später davon gab[2], wobei er sich auf eine frühere Vorlesung von Pictet und eine Bekanntmachung des Phänomens durch Brugnatelli bezieht. Nach Versuchen von Pictet, welcher das Gefäſs mit Rauch anfüllte, nimmt er einen tönenden Punct an, nämlich den der Verbrennung des Gases, weil der Ton sich mit der Veränderung dieses Punctes gleichfalls verändert[3]. Von diesem Puncte aus sollen dann Schwingungen ausgehen, gegen die Wände des Gefäſses stoſsen, von diesen reflectirt den ursprünglichen Schwingungen begegnen, so daſs beide gemeinschaftlich den Ton bedingen. Als mitwirkende Ursache soll dann die ungleiche Temperatur der Luft hinzukommen, indem die Mündung, an welcher das Gas brennt, stets glühet, und weil dieses bei einem brennenden Strome von Weingeist- und Aether-Dampf nicht der Fall ist, so soll hierdurch die Erscheinung nicht hervorzubringen seyn, was aber gegen die Erfahrung streitet, endlich aber soll auch die Temperatur des Zimmers auf die Erzeugung des Tones einen Einfluſs

---

1 Daſs diese letztere Behauptung einiger Beschränkung bedürfe, haben spätere Versuche ergeben, welche weiter unten erzählt werden.

2 Journ. de Ph. LV. 165.

3 Daſs dieses aus einer Verlängerung oder Verkürzung der schwingenden Luftsäule leicht erklärlich sey, bedarf kaum einer Erinnerung.

Digitized by Google

haben. Daſs de la Rive die Ursache des Phänomens verkannt habe, sieht man deutlich aus einer Anmerkung, worin er den Ton mit demjenigen vergleicht, welchen ein sogenannter Brummkreisel erzeugt, aus welchem die Luft durch die Centrifugalkraft herausgeschleudert werden, und die äuſsere in das Vacuum wieder eindringen soll. Auf gleiche Weise, meint er, würde durch das verbrennende Wasserstoffgas Dampf, durch die Verdichtung desselben aber ein Vacuum erzeugt, und der Ton entstehe dann durch das Eindringen der äuſseren Luft, wonach also die Ursache in den successiven Explosionen zu suchen wäre. Diese Hypothese wird durch einen dieses zwar nicht beweisenden, aber an sich sinnreichen Versuch unterstützt. Wenn man nämlich in eine Kugel an einer etliche Zolle langen Glasröhre, jene etwa 8 diese 2 Lin. weit, einige Tropfen Wasser oder Quecksilber bringt, und die Kugel einer starken Hitze über einer Weingeistlampe aussetzt, so entsteht ein ähnlicher Ton, hört nach einer kurzen Zeit auf, erneuert sich aber wieder, wenn nach dem Erkalten etwas von der Flüssigkeit aus der Röhre in die Kugel zurückflieſst. Hierbei ist leicht begreiflich, daſs die sehr expandirten Dämpfe, welche zum Theil in der kalten Röhre niedergeschlagen werden, die in der Röhre befindliche Luftsäule in Schwingungen versetzen. Brugnatelli brachte die Töne der chemischen Harmonica auch durch das Verbrennen von etwas Phosphor hervor, was wohl nicht zweifelhaft ist, jedoch läſst sich dieser Versuch wegen des schnellen Verbrennens des Phosphors nicht mit gleicher Leichtigkeit anstellen. Der Harmonica-Ton soll nach Geiger[1] gleichfalls entstehen, wenn man ein Medicinglas zu $\frac{3}{4}$ mit Wasserstoffgas, $\frac{1}{4}$ atmosphärischer Luft anfüllt, die Mündung nach unten kehrt, und das Gemenge anzündet.

Chladni blieb seiner anfänglichen Erklärung getreu, nämlich daſs die erzeugten Töne durch die Schwingungen der eingeschlossenen Luftsäule auf gleiche Weise entstehen, als in Blaseinstrumenten überhaupt, und daher auch mit denjenigen identisch sind, welche beim Hineinblasen in die Röhren gehört werden, indem Letzteres, nämlich das Hineinblasen, durch das einströmende Wasserstoffgas, das Hinzutreten des Sauerstoffgases der atmosphärischen Luft und vielleicht das Entweichen

1 Handbuch d. Pharmacie 2te Aufl. Heid. 1827. 8. I. S. 244.

des übrigbleibenden Stickgases ersetzt wird. Schiebt man die Flamme tiefer in das Rohr, oder steckt man von unten einen Finger in dasselbe, so werden die Schwingungsknoten der Luftsäule verändert und hiermit tritt zugleich eine Veränderung des Tones ein. Letzterer folgt auſserdem beim Bedecken der Röhre den nämlichen Gesetzen als die gewöhnlichen Pfeifentöne [1]. Die gehaltreichsten Untersuchungen, welche wir später über dieses akustische Problem erhalten haben, sind von Faraday [2], wobei nur zu bedauern ist, daſs dieser scharfsinnige Gelehrte bloſs die Abhandlung von de la Rive und nicht die von Chladni kannte. Letzterer hatte schon gefunden, daſs man sowohl gläserne als auch metallene Röhren und Gefäſse zu dem Versuche anwenden könne, und er folgerte aus theoretischen Gründen, daſs gehörig gestaltete Röhren von andern Substanzen gleichfalls dazu geeignet seyn müſsten, sobald nur die Luftsäule in denselben die zur Erzeugung eines Tones erforderlichen Schwingungen annehmen könne. De la Rive wandte auch hölzerne Röhren mit Erfolg an, erklärte sich aber namentlich gegen solche von Pappe und Papier, weil sie ihm für die von ihm angenommene Reflection der Schwingungen nicht elastisch genug schienen; allein Faraday erhielt recht gute Töne in einer bloſs aus zusammengerolltem Papiere gebildeten Röhre. Derselbe fand ferner, daſs man zwar am besten sich der Flamme des verbrennenden Wasserstoffgases bedienen könne, daſs aber Kohlenoxydgas, ölerzeugendes- und Kohlen-Wasserstoffgas, überhaupt rasch verbrennende Gasarten oder Dämpfe die Erscheinung gleichfalls hervorbringen, und daſs dieselbe auch dann erhalten werde, wenn man die Röhre über 100° C. erhitze, so daſs also die Dämpfe in derselben nicht niedergeschlagen werden. Nach Faraday liegt die Ursache des Tönens nicht in den Schwingungen der Röhre, weil man diese ohne irgend einen Einfluſs umwickeln kann, sondern in den successiven Explosionen, und die Töne werden um so leichter erzeugt, bei je niedrigerer Temperatur diese Explosionen anhaltend erfolgen, welche dann durch die Wände der angewandten Gefäſse eine Resonanz erhalten. Indeſs läſst sich bald zeigen, daſs diese

1 S. Chladni die Akustik. Leipz. 1802. S. 91. §. 78. Dessen Traité d'Acoustique Par. 1809. p. 85. §. 66.

2 Ann. Ch. Ph. VIII. 363.

Theorie zu den Erscheinungen nicht paſst. Manche Töne werden nämlich allerdings verstärkt durch die Resonanz, wie sich namentlich mit einer Stimmgabel leicht zeigen läſst, allein abgeändert rücksichtlich der Höhe und Tiefe können sie dadurch nicht werden. Die nämliche Flamme müſste also in jeder Röhre den nämlichen, der Zahl ihrer Explosionen in einer gegebenen Zeit proportionalen Ton geben, allein da dieser allezeit derjenige ist, welchen das Gefäſs durch Hineinblasen giebt, so liegt hierin der evidente Beweis, daſs durch die Flamme die eingeschlossene Luftsäule auf eine ähnliche Weise in ihrer Beschaffenheit angemessene Schwingungen versetzt wird, wonach also der Ton in Gemäſsheit derjenigen Gesetze erzeugt wird, welche durch Chladni und andere für tönende Luftsäulen aufgefunden sind[1].

Zenneck's Abhandlung[2], die neueste über diesen Gegenstand vor Faraday's Arbeit, setzt dem bisher Bekannten nichts hinzu, vielmehr soll einiges bei den Versuchen nicht beobachtet seyn, was sowohl früher als auch später von andern unter sich und mit der Theorie übereinstimmend gefunden ist. Bloſs die interessante Zugabe findet man hier, daſs eine Flöte oder überhaupt jedes seitwärts durchbohrte Rohr verschiedene Töne giebt, wenn man das eine oder das andere Loch verschlieſst, wie Chladni[3] gleich anfangs aus seiner Theorie folgerte, und woraus sich also ergiebt, daſs die chemische Harmonica ihrem Wesen nach unter die Blaseinstrumente gehört. Daſs der Ton nicht mehr zum Vorschein kommt, wenn die Röhre im Innern zu sehr mit Wasser überzogen ist, rührt nach Chladni entweder daher, daſs die Schwingungen der Luftsäule durch die Wassertropfen zu sehr gestört werden, oder daſs sie in einer Mischung aus Luft und Wasserdampf wegen schnell wechselnder Dichtigkeit an sich unmöglich sind. Nicht ohne Werth ist die von Zenneck mitgetheilte Tabelle, welche die in Röhren von angegebener Länge und Weite entstandenen Töne enthält, und zur Vergleichung der in Röhren überhaupt erzeugten Töne dienen kann. Daſs aber der beim Hineinblasen erhaltene Ton allezeit höher gewesen seyn soll als derjenige, welchen die Gas-

1 Vergl. *Schall.*
2 Schweigger's Journ. XIV. 14.
3 Neue Schrift. d. Ges. Nat. Freunde a. a. O.

flamme gab, streitet gegen die Resultate der gemeinsten Beobachtungen; sehr mit der Theorie übereinstimmend ist es dagegen, wenn Zenneck neben dem eigentlichen Tone noch die niedere Octave wahrnahm. Zugleich hält dieser die chemische Harmonica für geeignet, ein musikalisches Instrument abzugeben, welches aber Chladni gleich anfangs aus triftigen Gründen mit Recht verworfen hat. *M.*

# H e b e l.

*Vectis;* Levier; *Lever.*

Hebel heiſst im allgemeinsten Sinne des Wortes jede gerade oder krumme Linie, jede gegebene Fläche und jeder willkürlich gestaltete Körper, wenn man bei ihnen einen festen Punct annehmen kann, um welchen sie durch eine Kraft oder durch mehrere, auf willkürliche Angriffspuncte wirkende, Kräfte gedrehet werden können. Der Begriff des Hebels wird selbst durch die Bewegung des festen Punctes nicht aufgehoben, wie denn z. B. namentlich die Gesetze des Hebels bei dem Gliederbaue der Menschen und Thiere auch bei der Bewegung von diesen noch in Betrachtung kommen. Um aber dieses vielseitige Ganze unter einen gemeinsamen Begriff zu vereinigen, unterscheidet man den mathematischen und den physischen Hebel, construirt die Gesetze an dem ersteren und wendet sie dann auf den letzteren an.

## I. Mathematischer Hebel.

Unter einem mathematischen Hebel versteht man eine gerade, krumme, in einen oder mehrere Winkel gebogene, unbiegsame Linie, welche in einem Puncte unterstützt von einer oder mehreren Kräften in verschiedenen Richtungen und mit willkürlichen Angriffspuncten zur Bewegung sollicitirt wird, und das Gleichgewicht ist dann hergestellt, wenn die Summe der Momente der nach verschiedenen Seiten wirkenden Kräfte $= 0$ ist. Die geometrische Construction und ein schulgerechter Beweis dieses Hauptgrundsatzes der Statik und Mechanik hat die Mathematiker von jeher ausnehmend beschäftigt. Der Kürze und Einfachheit wegen berücksichtigt man zuerst den *geradlinigen Hebel*, eine gerade unbiegsame Linie mit einem *Unter-*

Digitized by Google

*stützungspuncte*, dem *Bewegungs*- oder *Umdrehungspuncte*, (*centrum motus*; point d'appui; *centre of motion*), welcher letztere auf der Unterlage oder der Unterstützung (*hypomochlium*; *fulcrum*; appui, soutien; *prop*) Fig. 9. ruhet. Liegt dann der Unterstützungspunct C zwischen den beiden Angriffspuncten der bewegenden Kräfte, welche vorläufig in paralleler Richtung wirkend angenommen werden, so heiſst der Hebel ein *doppelarmiger*, *zweiarmiger* oder *zweiseitiger*; ein **Hebel der ersten Art** (*vectis heterodromus*; levier du premier genre; *lever of the first kind*); liegt dagegen der Unterstützungspunct seitwärts von beiden Angriffspuncten, so heiſst der Hebel ein *einarmiger* oder *einseitiger*, ein **Hebel der zweiten Art** (*vectis homodromus*). Letztere Bezeichnung wird indeſs in der Regel bloſs von demjenigen Hebel gebraucht, bei welchem Fig. 10. der Angriffspunct der bewegenden Kraft A am Ende, der der zu hebenden Last dagegen B in der Mitte liegt, und man nennt dann einen **Hebel der dritten Art** einen solchen, Fig. 11. bei welchem die letztere Anordnung umgekehrt ist. Für die mathematische Theorie des Hebels und für die praktische Anwendung desselben ist die Abtheilung überhaupt ohne Nutzen und sollte billig nicht weiter beibehalten werden. Einige nehmen noch eine vierte Art Hebel an, welche z. B. beim Hammer am Stiele gegeben ist, allein dieses steht mit dem eigentlichen Begriffe des Hebels zu wenig im Einklange.

## Gesetz des Gleichgewichts der Kräfte am Hebel.

Wenn man zunächst die mitgetheilte einfachste Construction des Hebels berücksichtigt, so heiſst das allgemeine Hauptgesetz desselben: *Am geradlinigen mathematischen Hebel stehen senkrecht wirkende Kräfte im Gleichgewicht, wenn sie sich verkehrt wie ihre Entfernungen vom Ruhepuncte verhalten, oder das statische Gleichgewicht ist hergestellt, wenn die Producte der Längen der Hebelarme in die bewegenden Kräfte einander gleich sind*; also wenn $P\,l = p\,L$ oder $P : p = L : l$ ist.

Digitized by Google

Dieser Hauptgrundsatz beim Hebel, also bei der vorzüglichsten Fundamentalmaschine, ist in der gesammten Mechanik von gröſster Wichtigkeit, und war schon in den ältesten Zeiten bekannt. Archimedes[1] bezog denselben auf Flächen, welche durch verschiedene Kräfte in ungleichen Abständen von einem gegebenem Puncte um letzteren gedrehet werden sollen, verband ihn mit der Lehre vom Schwerpuncte, und setzte ihn eigentlich als Axiom ohne Beweis voraus. Wenn es nämlich gleich im ersten Satze heiſst: „Gleich schwere Gröſsen in glei„chen Entfernungen wirkend, sind im Gleichgewichte"; so gehört dieses mit Recht unter die Voraussetzungen. In der Folge ist dann die Art des archimedeischen Beweises eine indirecte, indem er zeigt, daſs der Satz gültig seyn müsse, weil kein Grund zu einer Bewegung vorhanden sey, diese daher auch nicht eintreten könne, mithin der Zustand der Ruhe erzeugt werde. Die anschaulichste Art der Darstellung dieses Beweises, wodurch mindestens die Sache auf eine elementare Weise ausnehmend klar wird, ist folgende. Es sey die geometrische, den Hebel darstellende Linie AB in C unterstützt; in gleichen Abständen von diesem Unterstützungspuncte seyen die gleichen Gewichte $\alpha$; $\beta$; $\gamma$; a; b; c; d; e; herabgelassen, so muſs die Linie AB ruhen, weil auf beiden Seiten alle Bedingungen gleich sind, folglich kein Grund vorhanden ist, warum entweder der eine oder auch der andere Hebelarm herabsinken sollte. Es mögen dann die drei Gewichte $\alpha$; $\beta$; $\gamma$ nach dem Parallelogramm der Kräfte in die mittlere Diagonalkraft in s vereinigt, sie selbst aber weggenommen werden, so kann keine Veränderung eintreten, weil s der Summe von $\alpha$; $\beta$; $\gamma$; völlig gleich und also nichts verändert ist[2]. Geschieht auf gleiche Weise die Vereinigung von a; b; c; d; e; in S, wodurch also abermals keine Veränderung herbeigeführt, mithin das Gleichgewicht fortdauernd erhalten wird, so finden sich für diesen

Fig. 12.

1 De aequiponderantibus. Lib. I. prop. VI u. VII. in Archimedis opp. per Isaacum Barrow. Lond. 1675. 4. Archimedis Kunstbücher, vert. von J. C. Sturm. Nürnb. 1670. Fol. Erst. Buch. Archimedes von Syracus vorhandene Werke, a. d. Griech. übers. und mit erläuternden u. krit. Anm. begleitet von Ernst Nizze. Stralsund. 1824. 4. S. 1 ff.

2 Es ist kaum nöthig, hierbei bemerklich zu machen, daſs hiernach der Satz vom Parallelogramm der Kräfte als schon bewiesen vorausgesetzt wird.

neuen Zustand des Gleichgewichts die Längen der Hebelarme DC und EC = 5 und 3, die zugehörigen Gewichte aber = 3 und 5, so daſs also P l = p L wird. Schon Barrow erklärte aber den archimedeischen Beweis für ungenügend, weil in den eigentlichen Sätzen VI und VII, wo von dem Schwerpuncte der vereinten Massen die Rede ist, ohne Beweis angenommen werde, daſs dieser in vereinten Körpern unverändert bleibe. Grunert[1] meint mit Barrow übereinstimmend, daſs das genannte Werk von Archimedes vielleicht verstümmelt oder nicht mit vollendeter Genauigkeit ausgearbeitet sey. Die oben mitgetheilte Demonstration nimmt als Axiom an, daſs keine Bewegung entstehen könne, wenn die Bedingungen an beiden Hebelarmen dieselben sind, oder wenn kein Grund hierzu vorhanden ist. Archimedes drückt diesen Satz in seinen ersten Propositionen so aus, daſs man eine Beziehung auf den Hebel deutlich darin erkennt, und einige glauben daher, daſs Leibnitz seinen Satz vom zureichenden Grunde hieraus entlehnt habe, wobei es mir jedoch scheint, daſs dieser sich jedem, insbesondere einem durch Geometrie gebildeten, Philosophen von selbst darbieten müsse[2].

Cartesius[3] suchte einen anderen Beweis für das allgemeine Gesetz des Hebels, und fand diesen in seinem allgemeinen statistischen Grundsatze, daſs nämlich das wahre Vermögen einer bewegenden Kraft dem *Producte der bewegten Masse in ihre Geschwindigkeit* gleich sey. Dieser allerdings höchst fruchtbare Satz, auf welchen Cartesius und seine Anhänger einen hohen Werth legten und in der Mechanik für gleich wichtig als den Pythagoreischen Lehrsatz in der Geometrie hielten, beweiset das Gesetz des Hebels sehr einfach. Ist nämlich der Hebel
Fig. 13. a b mit den beiden ungleichen Gewichten P und p im Gleichgewichte, und wird er in die Lage $\alpha\beta$ gebracht, so verhalten sich die bewegten Massen wie P : p; die Geschwindigkeiten aber wie die durchlaufenen Räume oder wie die Bogen $a\alpha : b\beta$. Da diese Bogen aber gleichen Winkeln zugehören, so verhalten sie sich wie die Halbmesser a c : b c. Nach dem Gesetze des Cartesius also verhalten sich die Kräfte, womit sich P und p

1 Statik fester Körper. Halle 1826. 8. S. 163.

2 Vergl. Vince in Phil. Trans. 1794. I. 35.

3 Tract. de Mechan. in Opp. posth. Amst. 1701. 4.

bewegen, wie $P \times ac : p \times bc$ und wenn $P : p = bc : ac$, so folgt

$$P \times ac = p \times bc$$

oder die bewegenden Kräfte sind einander gleich, streben aber den Hebel nach entgegengesetzten Seiten zu drehen, und müssen also nach dem allgemeinen Gesetze des Gleichgewichts in Ruhe bleiben. Gegen diesen allerdings scharfsinnigen Beweis, welcher eigentlich darauf beruhet, daſs es gleichen Aufwand von Kraft erfordern muſs, in gleicher Zeit 1 Pf. 2 F. hoch, als 2 Pf. 1 F. hoch zu heben, läſst sich einwenden, daſs das Axiom, worauf er beruhet, als solches, nicht Evidenz genug hat, und daſs für den Zustand der Ruhe beide Geschwindigkeiten = Null sind[1]. Dem letzteren Einwurfe begegneten die Cartesianer dadurch, daſs sie sagten es sey auch im Zustande der Ruhe das Bestreben nach Bewegung mit einer gewissen Geschwindigkeit (*sollicitatio ad motum*, *velocitas virtualis*) vorhanden, welche bei jeder Bewegung sogleich eintrete.

Is. Newton[2] betrat einen ganz entgegengesetzten Weg rücksichtlich der Begründung des ersten Grundsatzes der Mechanik, indem er das Gesetz des Gleichgewichts am Hebel auf das Parallelogramm der Kräfte zurückführte, und das Geschichtliche dieser Untersuchungen schlieſst sich hiernach an die verschiedenen Bemühungen, einen allgemeinen Beweis für das Parallelogramm der Kräfte (*compositio virium*) zu finden[3]. Eben diesen Weg betrat nachher Varignon[4], welcher hierüber sehr ausführlich ist, und auf die Lehre von der Zusammensetzung der Kräfte die ganze Statik und Mechanik gründet. Diese Methode, eine allgemeinere, welche man auch die analytische nennen kann, ist seitdem von den meisten französischen Geometern befolgt, und findet sich am vollständigsten und schönsten in Poisson's Mechanik[5], aber auch in verschiedenen neueren

1 Hutton Dict. I. 724 nennt es geradezu absurd, den Beweis für den Zustand der Ruhe bei einem Hebel aus dem Erfolge bei seiner Bewegung herzunehmen. Derjenige Beweis aber, welchen er selbst und der ähnliche, welchen Hamilton in seinem Essays aufstellt, scheint mir indeſs nicht gegen jeden Einwurf gesichert.

2 Princ. Lib. I. Ax. 3 Cor. 2. p. 26. ed. Jacquier.

3 Vergl. *Bewegung* Th. I. S. 933.

4 Nouvelle mécanique ou statique à Paris 1725. 4.

5 Traité de Mécanique analytique. Par. 1811. II Vol. 8.

Digitized by Google

deutschen Handbüchern, namentlich von Eytelwein[1], Brandes[2] und mit hinlänglicher Ausführlichkeit, lichtvoll, mit Nachweisung der Quellen und des Unterschiedes der Beweisart dargestellt durch Grunert[3]. Der Zustand des Gleichgewichts und der Bewegung des Hebels kommt hiernach auf die allgemeinen Gesetze der Bewegung zurück, wie diese durch die verschiedenen sollicitirenden Kräfte erzeugt wird.

Mehrere französische Gelehrte dagegen, hauptsächlich aber Engländer und auch Deutsche, sind der anderen Methode, nämlich der durch Archimedes befolgten, getreu geblieben, wonach das Gesetz des Hebels als Grundlage der gesammten Mechanik erscheint. Hiernach ist die Sache zwar einfacher und auf elementare Weise leichter lichtvoll darstellbar, zugleich aber wird ein strenger Beweis dieses Gesetzes unumgänglich erfordert. Dieses suchte hauptsächlich d'Alembert[4] anschaulich zu machen, indem er sagte, man sey mehr bemüht gewesen, das Gebäude der Mechanik zu vergröſsern, als dessen Eingange Licht zu geben; man habe den Bau stets fortgesetzt, ohne für gehörige Festigkeit des Grundes zu sorgen. De la Hire[5], Joh. Bernoulli[6], Maclaurin[7] und Kaestner[8] haben sich vorzüglich um diesen Beweis verdient gemacht, und ist insbesondere die Darstellung des Letzteren in die meisten deutschen elementaren Lehrbücher übergegangen[9]. Derselbe beruhet auf zwei Axiomen[10], nämlich: 1. Zwei gleiche Gewichte am gleich-

---

1 J. A. Eytelwein Handbuch d. Statik fester Körper. Berl. 1808. III Th. 8.

2 Lehrbuch d. Gesetze des Gleichgewichts u. d. Bewegung fester u. flüssiger Körper. Leipz. 1817 u. 18. II Th. 8.

3 Statik fester Körper. Halle 1826. I vol. 8.

4 Traité de Dynamique. A Paris 1743. 4. Préface.

5 Traité de Mécanique Par. 1695. Prop. I — IV.

6 Opp. T. IV. N. 177. §. V.

7 Account of Sir Is. Newton's philos. discoveries B. VII. ch. 3. Expositio Philosophiae Newtonianae; ed. Falck. Vindob. 1761. 4. L. II. Cap. III. p. 186.

8 Theoria vectis et compositionis virium evidentius exposita. Lips. 1753. 4.

9 Namentlich mit groſser Klarheit dargestellt durch Karsten Lehrbegr. III. 35.

10 Die Art der Darstellung ist aus Grunert's oben angegebenem

armigen Hebel in gleichen Entfernungen vom Ruhepuncte müssen im Gleichgewichte seyn, weil auf keiner Seite eine Ursache der Bewegung stattfindet; 2. die beiden Gewichte P und P′ drükken auf die Unterlage mit einer Kraft, welche der Summe ihrer Gewichte gleich ist, und wenn man daher im Mittelpuncte des Hebels eine dieser gleiche aufwärts wirkende Kraft anbringt, so müssen die entgegengesetzten Kräfte P, P′ und (P + P′) mit einander im Gleichgewichte seyn; ein nicht durch sich selbst absolut evidenter Satz; die Beweisführung ist dann folgende.

a. Am gleicharmigen Hebel sind die gleichen Gewichte P Fig.
und P′ im Gleichgewichte nach Nr. 1., wenn die Entfernung 14.
ac = bc = A ist.

b. Da nach Nr. 2. das Gleichgewicht noch fortdauern muſs,
wenn man in c eine Kraft = 2P aufwärts wirken läſst, so muſs Fig.
dieses auch dann noch stattfinden, wenn man P wegnimmt, den 15.
Hebel aber in a so befestigt, daſs er um diesen Punct gedrehet werden kann. Hiernach ist aber am einarmigen Hebel das einfache Gewicht in doppelter Entfernung mit dem doppelten Gewichte in einfacher Entfernung im Gleichgewichte.

c. Wird der eben beschriebene Hebel so verändert, daſs Fig.
man ihn bis nach d verlängert, hier mit 2P beschwert, und 16.
damit zugleich 2P in c ins Gleichgewicht bringt, so muſs nach Nr. 1. das Gleichgewicht fortdauern, und dieses wird auch dann der Fall seyn, wenn man die beiden entgegengesetzten Kräfte in c wegläſst, wonach also auch am zweiarmigen Hebel das einfache Gewicht in doppelter Entfernung mit dem doppelten in einfacher Entfernung ins Gleichgewicht kommt.

d. Giebt man dem eben beschriebenen Hebel statt der fe- Fig.
sten Unterlage bei a ein Gegengewicht, welches der Summe 17.
beider Gewichte gleich ist, nimmt vom Ende d das Gewicht 2P weg und macht dieses unbeweglich, so muſs beim einarmigen Hebel das Gleichgewicht nach Nr. 2. abermals hergestellt seyn.

e. Verlängert man diesen Hebel bis e, und beshwert ihn Fig.
durch die gleichen herabhängenden Gewichte = 3P, so muſs 18.
das Gleichgewicht nach Nr. 1. wieder hergestellt seyn, und also auch für den doppelarmigen Hebel nach Wegnahme der einander entgegengesetzt wirkenden Gewichte noch stattfinden,

---

Werke S. 166. entlehnt, wo sie lichtvoller als in der alten Ausgabe des Wörterbuchs durch Gehler gegeben wird.

so daſs also auch hierbei das dreifache Gewicht in einfacher Entfernung dem einfachen in dreifacher Entfernung vom Unterstützungspuncte das Gleichgewicht hält.

f. Es ist leicht zu zeigen, daſs man auf diese Weise durch stete Verlängerung des Hebelarms und die Vemehrung der Gewichte um die anfängliche Einheit zu dem Satze gelangt, daſs für beide Arten des Hebels das einfache Gewicht in der n fachen Entfernung dem n fachen Gewichte in der einfachen Entfernung das Gleichgewicht hält. Um dann die völlige Allgemeinheit des Gesetzes des Hebels zu erweisen, darf nur bewiesen werden, daſs dasselbe auch für die (n + 1) fache Vermehrung gilt, wenn es für die n fache erwiesen ist. Dieses kann aber auf folgende Weise geschehen. Es sey an einem gegebenen Hebel n P mit
Fig. 19. P im Gleichgewichte, wenn cb = n (ac) ist. Wird dann in c eine (n + 1) P fache aufwärts wirkende Kraft angenommen, so ist nach Nr. 2. das Gleichgewicht nicht aufgehoben, wenn man den Hebelarm in a drehbar befestigt und n P wegnimmt. Verlängert man den Hebelarm von a bis d, so daſs ac = da ist, und
Fig. 20. läſst von d und c herab (n + 1) P hängen, so ist das Gleichgewicht nach Nr. 1. bestehend, und muſs auch fortbestehen, wenn die gleichen entgegengesetzten Gewichte weggenommen werden. Hiernach ist das Gesetz also für das (n + 1) fache Gewicht und die (n + 1) fache Entfernung gültig, und da es oben für n = 3 bewiesen ist, so ist es auch für n = 4; 5; 6..... gültig, wenn man diese Zahlen nach einander = n setzt, also ist seine Allgemeinheit bewiesen.

g. Aus diesem Satze läſst sich dann umgekehrt folgender allgemeine ableiten: *Wenn zwei an einem Hebel der einen oder der andern Art wirkende Kräfte sich umgekehrt wie ihre Entfernungen vom Ruhepuncte verhalten, so sind sie im Gleichgewichte.* Dieser Satz begreift zwei, schon von ARCHIMEDES berücksichtigte Fälle, nämlich entweder die Kräfte P und P′ stehen zu einander in einem rationalen Verhältnisse, sie sind commensurabel, oder sie stehen zu einander in einem irrationalen Verhältnisse, sie sind incommensurabel. Der erste Fall ist an sich klar, im zweiten kann aber gezeigt werden, wie man sich auf die bekannte Weise der Grenze des rationalen Verhältnisses bis auf eine verschwindende Gröſse nähern kann[1].

---

1 Auf welche Weise das allgemeine Gesetz des Hebels aus dem *Principe der virtuellen Geschwindigkeit* abgeleitet werde, ist im Ar-

Digitized by Google

Der hier erläuterten Theorie zu Folge, läſst sich jede gegebene Last durch jede gegebene Kraft in Bewegung setzen, wenn man die Hebelarme willkürlich verlängert und verkürzt. So läſst sich mit einem Pfunde Kraft eine Last von tausend Pfunden ins Gleichgewicht setzen, und die geringste Kraftvermehrung würde dann sogar eine Bewegung der tausendmal gröſseren Last erzeugen[1]. Das Product der senkrecht auf den Hebel wirkenden Kraft in ihre Entfernung vom Ruhepuncte heiſst dann das *ſtatiſche Moment der Kraft.*

## Schiefer Zug am Hebel.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurden allezeit unter sich parallele und lothrecht auf die Hebelarme wirkende Kräfte angenommen. Obgleich indeſs dieses in der Wirklichkeit nicht einmal als Regel gelten kann, so lassen sich dennoch aus dem hierfür aufgefundenen Gesetze diejenigen sehr leicht ableiten, welche für den schiefen Zug und den Winkelhebel gelten. Auch hierbei ist die Methode eine gedoppelte. Ist nämlich das Gesetz des Hebels aus der allgemeinen Theorie der wirkenden Kräfte aufgefunden, so daſs das Theorem vom Parallelogramm der Kräfte vorausgeht, so begreift dasselbe nicht bloſs den geraden, sondern zugleich auch den schiefen Zug der Kräfte in sich; stellt man dagegen nach der Methode des Archimedes das Gesetz des Hebels voran, so wird der Beweis hierfür der Einfachheit wegen am geradlinigen Hebel mit paralleler Richtung der auf die Hebelarme lothrechten Kräfte geführt, von diesem die Construction des schiefen Zuges abgeleitet, und hieraus der Satz vom Parallelogramm der Kräfte gefolgert.

Eine nähere Betrachtung zeigt bald, daſs die Demonstration des schiefen Zuges der Kräfte am Hebel den Beweis vom Parallelogramm der Kräfte voraussetzt. Gehler hat sie auf folgende bekannte Weise gegeben. Ist der Hebelarm c b durch die Kraft b P um den Punct c zu drehen, und man fället das Fig. 21. Perpendikel c d, so kann man annehmen, es sey das ganze Dreieck b c d um den Punct c zu drehen, und wenn dieses durch

tikel *Geschwindigkeit* gezeigt, worauf ich daher verweise. Die Einwendungen, welche Roberval aus seinem *problema staticum* dagegen hernahm s. im Art. *Waage.*

1 Vergl. *Rad* u. *Getriebe.*



Digitized by Google

die Kraft dP geschieht, so ist das Moment der Kraft $= P \times cd$ wie beim gewöhnlichen Zuge am Hebel. Hierbei wird indeſs cb offenbar als die Diagonale des durch bd und dc gegebenen Parallelogramms angesehen, worin bd als auf die feste Unterlage lothrecht drückend, oder mit einer solchen parallel laufend $= 0$ wird, und also cd allein in Rechnung kommt. Wird der angenommene Satz aber einmal zugestanden, so führt die weitere Demonstration Gehler's dann allerdings zum Parallelogramm der Kräfte. Es seyen nämlich an den Hebelarmen ac,
Fig. 22. bc die Kräfte P und P′ angebracht. Man fället auf ihre Richtung die Perpendikel $c\alpha$; $c\beta$; und erhält die Momente der Kraft $P \times c\alpha$ und $P' \times c\beta$, so daſs das Gleichgewicht hergestellt ist, wenn $P : P' = c\beta : c\alpha$, weil $P \times c\alpha = P' \times c\beta$ seyn muſs. Werden dann die Richtungen beider Kräfte verlängert, bis sie sich in i schneiden, und zieht man die Linie ci in den Durchschnittspunct derselben, so giebt diese die Richtung an, in welcher die Unterlage gedrückt wird, und wenn die Linien ai und ci über diesen Durchschnittspunct hinaus verlängert werden, bis eine mit bi parallele sie schneidet, so erhält man das Dreieck die, dessen Seiten id; de; ei sich wie die Kräfte P′; P und der Druck gegen die Unterlage verhalten. Dieses ist der Satz des Simon Stevin[1] vom Gleichgewichte für drei Kräfte, nämlich: wenn ein Körper durch drei Kräfte sollicitirt wird, welche sich wie drei mit ihnen parallele Seiten eines Dreiecks verhalten, so muſs er ruhen. Varignon[2] erhob diesen zu einem allgemeinen Grundsatze der Statik, wozu er aber keineswegs genügende Evidenz hat.

Ungleich besser kann die Construction des schiefen Zuges an den Hebelarmen nach Grunert[3] aus der Aehnlichkeit der
Fig. 23. Dreiecke abgeleitet werden. Es mag daher der Hebel acb durch die parallelen Kräfte P und P′ gezogen werden. Man fälle $\alpha\beta$ auf die Richtung der Kraft P und die rückwärts laufende Verlängerung der Richtung von P′ perpendikulär, so sind die Dreiecke $ac\alpha$ und $bc\beta$ einander ähnlich. Indem aber nach dem Gesetze des Hebels

---

1 Beghinselen der Weghkonst. Amst. 1596. 4. Aus ihm ist Hutton's und Hamilton's oben erwähnter Beweis des Hebelgesetzes entnommen.

2 Nouvelle Mécanique ou Statique. A Paris 1725. 4.

3 Statik fester Körper. S. 170.

$$P : P' = c\beta : c\alpha$$

und für die ähnlichen Dreiecke

$$c\beta : c\alpha = cb : ca$$

so iſt auch $P : P' = cb : ca$

Iſt ſomit alſo bewieſen, daſs für parallele Richtungen beider Kräfte $P' \times c\beta = P \times c\alpha$ iſt, alſo daſs hierbei die Perpendikel auf die Richtungen der Kräfte oder ihre Verlängerungen als die Längen der Hebelarme gelten können, ſo läſst ſich dieſer Satz allgemein leicht auf jede willkürliche ſchiefe Richtung der Kräfte ausdehnen. Aus dieſem Satze läſst ſich dann der Hauptſatz vom Parallelogramm der Kräfte ableiten; wie dieſes durch Kaestner, Karsten u. a., auf eine elegante Weiſe namentlich durch J. G. Garnier[1] geſchehen iſt, hier aber nicht weiter erörtert werden kann. Uebrigens bedarf die Conſtruction des Hebels mit ſchiefem Zuge der Kräfte nicht allezeit des Fällens der Perpendikel, vielmehr iſt allgemein

$$c\alpha : ca = \text{Sin. } caP : r$$
$$c\beta : cb = \text{Sin. } cbP' : r$$

und es wird alſo aus $P' \times c\beta = P \times c\alpha$ für den Zuſtand des Gleichgewichts am Hebel

$$P' \times cb \text{ Sin. } cbP' = P \times ca \text{ Sin. } caP.$$

Heiſst alſo der Winkel, welchen die Richtung der Kraft mit dem Hebelarme bildet, beim einarmigen Hebel $\varphi$, bei dem zweiarmigen aber $\varphi$ und $\varphi'$, und nennt man die Längen der Arme in gleichem Maſse gemeſſen L und l, ſo iſt allgemein für den Zuſtand des Gleichgewichts:

$$P'L \text{ Sin . } \varphi' = Pl \text{ Sin . } \varphi$$

oder man findet das Moment der Kraft am Hebelarme, wenn man das Product der Kraft in die Länge des Hebelarmes mit dem Sinus des Neigungswinkels multiplicirt, welchen die Richtung der Kraft mit dem geraden Hebelarme bildet. Aus dieſem Satze folgt, daſs bei paralleler Richtung der Kräfte das Gleichgewicht bei jedem Winkel bleibend erhalten wird.

Hiervon läſst ſich leicht eine Anwendung auf den Winkelhebel (*vectis angularis*; Levier brisé) machen. Man verſteht hierunter eine unbiegſame Linie, welche aus zwei im Unterſtützungspuncte einen Winkel bildenden Linien beſteht.

1 Leçons de ſtatique cet. par J. G. Garnier. Par. 1811. I Vol. 8. p. 48.

Sind zuerst die wirkenden Kräfte lothrecht auf die Hebelarme Fig. 24. gerichtet, so kann das aufgestellte Gesetz des Hebels nicht abgeändert werden. Man beschreibe mit dem kürzeren Hebelarme ac um das Centrum c einen Kreis, verlängere bc bis es in d den Kreis schneidet, und lasse auf den Radius cd eine Kraft $\Pi = P$ perpendiculär wirken, so kann die Wirkung von $\Pi$ der Wirkung von P gleich gesetzt werden, weil die Richtung beider gleichen Kräfte eine Tangente an den Kreis adf bildet, und somit alle Bedingungen, welche die Umdrehung dieses Kreises um das Centrum c erzeugen, in beiden Fällen völlig gleich sind. Indem aber $\Pi : P' = bc : dc$, so muſs auch $P : P' = bc : ac$ seyn, und es ist also auch beim Winkelhebel das Gleichgewicht hergestellt, wenn $P \times ac = P' \times bc$. Bildet dagegen die Richtung der Kräfte mit den Hebelarmen einen spitzen oder stum- Fig. 25. pfen Winkel, so kann man, wie oben, entweder die Perpendikel $c\alpha$; $c\beta$ auf die Richtungslinie der Kraft oder ihre Verlängerung fällen, oder man erhält auch hier allgemein

$$\text{aus } P' \times c\beta = P \times c\alpha$$
$$P' \times cb \times \text{Sin. } cbP' = P \times ca \times \text{Sin. } caP$$
$$P' \times cb \ \text{Sin. } \varphi' = P \times ca \ \text{Sin. } \varphi$$

Ist der Hebel krummlinig, so wird hierdurch nichts abgeändert; denn man darf nur vom Unterstützungspuncte eine gerade Linie bis zum Angriffspuncte der Kraft ziehen, um den krummlinigen Hebel auf den geradlinigen zurückzuführen.

Aus der Formel ergiebt sich, daſs der Factor Sin. $\varphi$ von 0 bis 1 verschieden seyn kann, je nachdem der Sinus des Neigungswinkels des Hebelarmes mit der Richtung der Kraft von 0° bis 180° wächst. Daſs der Factor nicht gröſser als 1 werden könne, ist an sich klar, denn sonst müſste die Kraft mehr wirken, als ihre Gröſse beträgt. Ist dagegen die Richtung der Kraft von der Art, daſs sie den Hebelarm nicht umzudrehen, sondern in seiner Richtung nach einer oder der entgegengesetzten Seite zu bewegen strebt, also mit demselben einen Winkel von 0° oder 180° macht, so ist Sin. 0° und Sin. 180° = 0, also die Wirkung der Kraft, wie groſs diese letztere an sich seyn mag, = 0. Dieser Satz ist in vielen Fällen der praktischen Anwendung von gröſster Wichtigkeit, und es folgt aus demselben namentlich, daſs ein durch willkürlich groſse Kräfte in der Richtung seiner Fig. 26. Länge angespanntes Seil, z. B. wenn es über die Rollen a, a geschlungen durch die gröſstmöglichsten Lasten P, P angespannt

Digitized by Google

würde, nicht gerade gezogen werden kann, sobald es in dem Raume zwischen a, a mit irgend einem, auch nur seinem eigenen Gewichte beschwert ist. Inwiefern dasselbe unter diesen Bedingungen des eigenen Gewichtes u. s. w. die *Kettenlinie* bilde, ist eine bekannte Untersuchung der Geometrie.

## Anwendung des Hebels.

Die Untersuchung des mathematischen Hebels wird bloſs der scharfen und bestimmten Construction der Gesetze wegen angestellt, obgleich er übrigens in der Wirklichkeit physisch nicht darstellbar ist, insofern eine unbiegsame und zugleich nicht schwere Linie keine Existenz haben kann. Sobald daher die Theile des Hebels körperlich, also auch schwer sind, nennt man den Hebel einen *physischen*, und es ist leicht, die aufgefundenen Gesetze auf denselben zu übertragen. Zu diesem Ende betrachtet man den Hebel zuerst als einen mathematischen, indem man vom Unterstützungspuncte bis zum Angriffspuncte der Kraft eine geometrische Linie zieht, berechnet hierfür das statische Moment $= L \times p = l \times P$, bestimmt dann den Schwerpunct der Masse des Hebelarms, nimmt das gesammte Gewicht des letzteren hierin vereint an, sucht die Entfernung desselben vom Unterstützungspuncte, addirt das Product jener Masse in diese Entfernung zu dem schon gefundenen Producte der Kraft in die Länge des Hebelarmes, und erhält das statische Moment des Gleichgewichts, wenn beide auf diese Weise gefundene Summen einander gleich sind. Zuweilen ist es der Fall, z. B. bei einem nicht beschwerten Waagebalken, daſs die dem mathematischen Hebel zugehörigen Producte der Kräfte in die Längen der Hebelarme $= 0$ oder gar nicht vorhanden sind. Auf welche Weise ferner der Schwerpunct der Masse, woraus der Hebelarm besteht, allgemein gefunden werde, dieses soll in einem eigenen Artikel[1] gezeigt werden, als leichtes Beispiel diene folgendes. Es bestehe der Hebelarm aus einem Parallelepipedon a b, dessen Gesammtgewicht 12 ℔ betrage, dieses sey in a, dessen Abstand vom Unterstützungspuncte $= 2$ ist, mit 100 ℔ $= P$ beschwert, die Länge des andern Hebelarmes sey $= 10$, der Schwerpunct des Hebelarmes a falle in $\alpha$, von b in $\beta$, und das Gewicht sey dort $= 2$, hier $= 10$. Es fragt sich, wie Fig. 27.

1 S. *Schwerpunct.*

Digitized by Google

groſs p seyn muſs, damit das statische Moment des Gleichgewichts hergestellt werde. Hier hat man $100 \times 2 + 2 \times 1 = x \times 10 + 5 \times 10$, woraus $x = 15{,}2$ gefunden wird, und somit
Fig. 28. die Rechnung $202 = 202$ giebt. Wäre dagegen der einarmige Hebel ab in c unterstützt, die Länge $ca = 1$; $ab = 6$; $P = 300$ und das Gewicht der Stange selbst $= 10$; die Entfernung des Schwerpunctes $\alpha$ vom Unterstützungspuncte $= 3$; so wäre $300 \times 1 + 10 \times 3 = x \times 6$, woraus $x = 55$ gefunden würde. So wie man übrigens in den beiden angegebenen Fällen die eine unbekannte Kraft finden kann, wenn die übrigen fünf Stücke der Gleichung gegeben sind, eben so kann jedes einzelne dieser letzteren als unbekannt gefunden werden, wenn jenes gleichfalls bekannt ist. Ist das Verhältniſs der Längen der Hebelarme unbekannt, so läſst sich dasselbe bei gegebenen Gewichten und bekannter Länge des ganzen Hebels finden. Es ist nämlich, die letztere $= \lambda$ gesetzt, nach der allgemeinen Gleichung für den mathematischen Hebel $P\frac{\lambda}{x} = p\frac{\lambda}{\lambda - x}$, woraus $\alpha = \frac{P\lambda}{P + p}$ gefunden wird. Wäre z. B. ein Gewicht von 20℔ $= P$ mit einem Gewichte von 5℔ $= p$ an einer Stange von 10 F. $= \lambda$ ins Gleichgewicht zu setzen, und man fragte, wie das Verhältniſs der Längen beider Hebelarme seyn müsse, so wäre $x = \frac{P\lambda}{P + p} = \frac{200}{25} = 8$; also $P\frac{\lambda}{x} = p\frac{\lambda}{\lambda - x}$ würde $= 20 \times \frac{10}{8} = 5 \times \frac{10}{2}$ oder $20 \times 1{,}15 = 5 \times 5$ also $25 = 25$. Die nämliche Gleichung paſst auch für den Fall, wenn eine gegebene Last an einer Stange, das Gewicht der letzteren nicht gerechnet, mit ungleichen Kräften gehoben werden soll, z. B. wenn zwei Personen von ungleicher Stärke eine Last an einer Stange tragen oder zwei ungleich starke Pferde neben einander an einem Wagen ziehen sollen. Beträgt die gesammte zu wältigende Last 100℔, soll sie so vertheilt werden, daſs auf den einen Theil 80, auf den andern 20℔ kommen und ist die Länge der ganzen Hebelstange $= 10$, so hat man, wie oben, $P = 80$; $p = 20$; $\lambda = 10$, also $x = \frac{P\lambda}{P + p} = \frac{80 \times 10}{80 + 20} = \frac{800}{100} = 8$, und $P \times \frac{\lambda}{x} = p \times \frac{\lambda}{\lambda - x}$ also $\frac{800}{8} = \frac{200}{2}$. Die Hebelstange muſs

also im Verhältniſs von 8 zu 2 getheilt werden, wobei dann $Pl = pL$ für den Zustand des Gleichgewichts $80 \times 2 = 20 \times 8$ giebt [1].

Hierbei muſs dann aber zugleich berücksichtigt werden, welchen Winkel die Richtungen der Kräfte mit den Hebelarmen bilden. Sind jene Richtungen parallel, z. B. wenn eine groſse und kleine Person eine Last auf einer Stange halten, wenn dieselbe bergauf- oder bergab-wärts getragen wird, wenn die Waage, woran die Pferde ziehen, eine schiefe Richtung erhält u. s. w., so wird das Verhältniſs der anzuwendenden Kräfte nicht geändert. Dieses findet indeſs nur dann statt, wenn der Schwerpunct der Last genau auf den angenommenen Punct drückt, z. B. wenn sie an dem Hebel aufgehangen ist; ruhet sie aber auf demselben, und der Hebel erhält eine Neigung gegen den Horizont, so verändert sich die angenommene Abtheilung der Hebelarme. Wäre z. B. die Horizontalebene AB, die Neigung des Hebels AC, die Abtheilung seiner Arme Ac und cC, so würde sie statt dessen $= A\gamma$ und $\gamma C$ werden [2]. Fig. 29.

Aehnliche Aufgaben lieſsen sich noch mehrere mittheilen, allein sie lassen sich auf die angegebene Weise leicht auflösen. Sind dagegen Länge des Hebelarms und Gröſse der Kraft zugleich unbekannt, so erhält man eine unbestimmte Gleichung. Alles das bisher Gesagte paſst zugleich auch auf die Vereinigung mehrerer Hebel mit einander, wovon gleichfalls mehrfache praktische Anwendungen gemacht werden. Wollte man z. B. drei Hebel zusammenfügen, deren Arme das Verhältniſs von $4:1$ hätten, so würde $p : P = 1 : 4^3$ seyn. Fig. 30.

Anwendungen des Hebels finden sich in so groſser Menge, daſs es weder möglich noch nützlich ist, sie sämtlich hier namhaft zu machen. Dahin gehören unter andern der *Hebebaum*, die *Heblade*, die *Waage*, der *Schubkarren*, *Spaten*, *Scheren*, *Messer* u. s. w. Bei einigen ist die Anwendung der Hebelgesetze so einfach und leicht, daſs es sich nicht der Mühe lohnt, sie an denselben näher nachzuweisen, die wesentlichsten dahin gehörigen Maschinen aber werden in eigenen Artikeln näher beschrieben. Bloſs der *Hebebaum*, eine der einfachsten An-

---

1 Vergl. G. G. Schmidt Anfangsgr. der Math. Fr. 1798. 8. Th. II. S. 10.

2 J. Leslie Elements of Nat. Philos. Edinb. 1823. I. 157.

Digitized by Google

wendungen des Hebels, möge hier kurz erwähnt werden. Dieses ist ein bloſser Baum, welcher von den Handwerkern und sonstigen Arbeitern häufig zum Fortschaffen schwerer Lasten theils als Hebel erster, theils als zweiter Art gebraucht wird.
Fig. 31. Letzteres geschieht am häufigsten, und wird daraus ersichtlich, wenn cb einen Baum vorstellt, welcher in c auf einer festen Unterlage ruhet, in b mit der Hand gehalten wird und nicht weit von seinem Ende die Last A trägt. Als Hebel der ersten Art, oder als zweiarmiger erscheint der Hebebaum, wenn er
Fig. 32. in c ruhet, auf dem Arme ac die zu hebende Last A trägt, und am andern Arm b mit der Hand bewegt wird. Bäume, vermittelst deren groſse Schrauben umgedrehet werden, Stangen, mit deren Hülfe man Walzen umdrehet, welche mit groſsen Lasten beschwert sind, der *Geisfuſs* der Maurer und unzählige andere Werkzeuge, gehören gleichfalls unter diese Classe.

*M.*

## Heber.

*Sipho*; Siphon; *Siphon or Syphon.*

Die Theorie des Hebers wird in der Physik mit den Untersuchungen der Aërostatik verbunden, weil die Wirkung der Heber bei fehlendem Luftdrucke aufhört; indeſs finde ich diese an sich sehr leichte Theorie meistens nicht mit derjenigen Deutlichkeit abgehandelt, deren sie fähig ist. Will man nämlich das Laufen des Hebers unmittelbar auf den Druck der Luft zurückführen, so kann man nicht gut der Einwendung entgehen, daſs der Luftdruck gegen die Flüssigkeit im längeren Schenkel stärker ist, als im kürzeren, weil der Druck der Atmosphäre nach unten wächst, und daſs sonach der Heber umgekehrt flieſsen müſste. Auf folgende Weise scheint mir die Sache klarer zu werden.

Hat man eine communicirende Röhre von beliebiger Form,
Fig. 33. Weite, Krümmung u. s. w. mit irgend einer Flüssigkeit gefüllt, so wird letztere in beiden Schenkeln im Gleichgewichte seyn, wenn die lothrechte Höhe cd in beiden dieselbe ist, und das Niveau $\alpha\alpha$ in beiden wird eine horizontale Ebene bilden. Dieser hydrostatische Fundamentalsatz bedarf hier keines Beweises, noch einer weiteren Erläuterung, sondern kann als ausgemacht angenommen werden. Indem aber das hiernach bestehende

Digitized by Google

Gleichgewicht eine Folge der Schwere dieser Flüssigkeit ist, so kann es auch weder aufgehoben noch abgeändert werden, wenn man die Röhre umkehrt, und es muſs also die Säule der Flüssigkeit im Schenkel c b derjenigen im Schenkel c a in der Art das Gleichgewicht halten, daſs keine die andere herabsinken läſst, sobald man voraussetzt, daſs beide durch eine gleiche Kraft in den Schenkeln der Röhre zurückgehalten, und am Herabfallen gehindert werden. Die hierzu erforderliche Kraft ist aber im Drucke der atmosphärischen Luft gegeben, welcher eine Wassersäule von 32 Par. F. Höhe, und von jeder andern eine lothrechte Säule zu heben vermag, deren Länge $= \frac{32}{w}$ Par. F. beträgt, wenn w das specifische Gewicht derselben bezeichnet. Wäre also eine Röhre von der hier angenommenen Gestalt so enge, daſs die Luft nicht neben der enthaltenen Flüssigkeit eindringen könnte, um sich als die leichtere über die schwerere zu erheben, oder wäre es möglich, ein ebenes Niveau der Flüssigkeit in den Schenkeln a und b bleibend zu erhalten, so würde keine von beiden Säulen herabsinken; allein dieses ist fast eben so unmöglich, als eine Kugel auf der Spitze einer Stecknadel zu balanciren. Fig. 34.

Sobald das Niveau *αα* aufhört ein horizontales zu seyn, muſs hiernach das Gleichgewicht aufgehoben werden, und die längere, also auch schwerere, Säule wird herabsinken. Es seyen diesemnach die Höhen a c und b c einander gleich, zu der letzteren Flüssigkeitssäule möge aber noch b e hinzukommen, so muſs dieser letztere Theil der Säule herabfallen, weil er nicht durch einen ihn in entgegengesetzter Richtung bewegenden Theil im andern Schenkel des Hebers zurückgehalten wird. Um hiervon die Nothwendigkeit einzusehen, darf man sich den Heber nur, wie anfänglich, als umgekehrt vorstellen, in welchem Falle e b in umgekehrter Richtung herabsinken, und c a heben würde. Bezeichnet also *α* das Niveau der Flüssigkeit in einem Gefäſse, in welche der eine Schenkel des Hebers herabgesenkt ist, e die Oeffnung des andern Schenkels, welcher entweder frei herabhängt oder in ein anderes Gefäſs gesenkt ist, so wird die Flüssigkeit aus der Oeffnung e herabflieſsen, und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche dem Unterschiede beider Niveau's, oder der Höhe der Säule c b nach einem gewissen Gesetze proportional ist. Soll dann diese letztere in Folge ihrer Fig. 35.

Digitized by Google

Schwere herabfallen, so müſste sie sich bei b, als bis wohin sie im Gleichgewichte gehalten wird, trennen, hier also ein luftleerer Raum entstehen, welches aber unmöglich ist, so lange das Gewicht von b e den Gegendruck der Luft nicht übersteigt, die Höhe also nicht mehr als $\frac{32}{w}$ Par. Fuſs nach der obigen Bestimmung beträgt. Aus dieser Ursache aber wird die herabfallende Säule b e die an sie grenzende mit sich herabziehen, und wenn dann die lothrechte Höhe c d geringer ist als $\frac{32}{w}$ Fuſs, so daſs in der ganzen Röhre b c a kein Vacuum entstehen kann, so wird die Flüssigkeit im Schenkel a c gehoben werden und im Schenkel c e herabflieſsen. Das Gewicht der Säule b e muſs also, wenn letztere herabfallen soll, zugleich die Flüssigkeit in der Röhre a c b in Bewegung setzen, und namentlich deren Adhäsion an die Röhrenwände überwinden, wozu eine nach den Bedingungen verschiedene Kraft erfordert wird. Dürfte man diese letztere vernachlässigen oder als stets gleichbleibend ansehen, so würde die Geschwindigkeit des Herabflieſsens, und somit auch die Menge der ausflieſsenden Flüssigkeit dem Querschnitte der Heberröhre multiplicirt in die Quadratwurzel der Höhe b e proportional seyn[1].

In dem hier Mitgetheilten, wenn man insbesondere zugleich berücksichtigt, daſs bei communicirenden Röhren, auf welche die Construction des Hebers zurückgeführt ist, die Weite derselben eben so wenig als auch die verschiedenartigsten Krümmungen irgend einen Einfluſs auf den gleich hohen Wasserstand in beiden ausüben, liegt also die ganze einfache Theorie des Hebers mit den sehr zahlreichen Anwendungen desselben. Die Bedingungen des Flieſsens beim Heber sind demnach 1. daſs der denselben bildende Canal überall luftdicht verschlossen sey, weil sonst die Luft in denselben eindringen, als leichtere Flüssigkeit den Raum a c b einnehmen und durch ihre Elasticität den Gegendruck der atmosphärischen Luft gegen die Wassersäulen in den Schenkeln a und e aufheben würde; 2. daſs die lothrechte Höhe c d nicht mehr betrage als $\frac{32}{w}$ Par. Fuſs und 3. daſs das Niveau der Flüssigkeit in e tiefer liege als

1 Vergl. *Hydrodynamik.*

Digitized by Google

in a, weil sonst das Gleichgewicht hergestellt ist, und das Flieſsen aufhört. Dabei muſs, wie sich von selbst versteht, der eine Schenkel, welchem das höhere Niveau der Flüssigkeit zugehört, oder es müssen beide Schenkel in die Flüssigkeit eingetaucht seyn. Wäre daher z. B. der Heber a c b in ein Gefäſs mit Wasser gesenkt, die Weite der Röhre nicht stärker als etwa 1 bis 2 Lin. angenommen, damit nicht das Wasser neben der aufsteigenden Luft herabflieſsen könne, und läge der Wasserspiegel bei a und das Ende der Röhre in einer horizontalen Ebene, oder ginge die Flüssigkeitssäule nicht weiter als bis zu diesem Puncte b herab, so müſste derselbe still stehen. Senkte man ihn dann so tief in die Flüssigkeit, daſs b bis nach β herabkäme, so würde so viel von der Flüssigkeit ausströmen, bis der Flüssigkeitsspiegel und β die horizontale Ebene αβ bildeten, und der Heber müſste abermals stillstehen. Höbe man ihn dann wieder bis soweit in die Höhe, daſs β an den Ort von b käme, ohne die Flüssigkeit im Gefäſse zu vermehren, so würde sich die Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung von b durch c nach a bewegen, der Heber sich mit Luft füllen, und sein Flieſsen überall aufhören.

Fig. 36.

Der Heber war schon den Alten bekannt, und es ist merkwürdig, in wie vielfacher Gestalt Heron von Alexandrien[1] die Anwendung desselben gezeigt hat. Indeſs leitete man bekanntlich diese Erscheinungen nicht vom Luftdrucke ab, sondern von einer anziehenden Kraft des leeren Raumes. Bei der Beschreibung der wichtigsten Anwendungen des Hebers werde ich zugleich anzeigen, welche dann schon beim Heron vorkommen.

Im Allgemeinen ist oben bei der Demonstration des Hebers angenommen, daſs derselbe gefüllt seyn müsse, weil sonst das Gleichgewicht der Flüssigkeitssäulen und das Herabfallen der einen derselben nicht stattfinden kann. Diese Bedingung ist auch in sofern eine nothwendige, als ein Flieſsen der Flüssigkeit für die Wirkungen des Hebers nothwendig möglich seyn muſs. So lange nämlich der obere Raum bei c mit Luft erfüllt

---

1 Heronis Alex. Spiritualium Liber, a Federico Commandino Urbinate ex Graeco in Latinum conversus. Acced. Jo. Bapt. Aleotti quatuor Theoremata Spiritualia, ex Italico in Lat. conversa. Amst. 1680. 4. Graece Paris 1593. Fol. Inter Vett. Mathemat. opera. graece et lat.

Digitized by Google

iſt, kann kein Flieſsen des Hebers ſtattfinden, obgleich die Anweſenheit eines nicht über die erforderliche Grenze groſsen, mit Luft erfüllten, Raumes dieſes keineswegs unmöglich macht. Fig. 37. Wäre z. B. der Raum g e mit Luft gefüllt, und die lothrechte Höhe der Säule e b gröſser als die von a f, ſo könnten beide weder im Gleichgewichte bleiben, noch auch könnte die Flüſſigkeitsſäule a f die längere e b nach ſich ziehen, und ein Zurückflieſsen des Hebers bewirken, ſo daſs derſelbe alſo nothwendig bei b ausflieſsen muſs. In dieſem häufig vorkommenden Falle wird bei einer nicht zu weiten, und bei b einen hinlänglichen Ausfluſs gewährenden Röhre die Säule e b herabflieſsen, die Flüſſigkeit in g c f a nach ſich ziehen, bis die Grenze bei g unterhalb e herabſinkt, und dann der Heber auf die gewöhnliche Weiſe zu flieſsen fortfährt. Iſt dagegen die Röhre etwas weiter, die Ausfluſsöffnung bei b aber enger, ſo wird von g herab bis e ein Herabflieſsen an den Wandungen der Röhre ſtattfinden, welches gerade hinreicht, um den Ausfluſs bei b zu erſetzen, und die Luft wird ſich fortdauernd im Raume g e erhalten. Sie hat nicht völlig die Dichtigkeit der atmoſphäriſchen Luft, ſondern wenn die letztere = d, ihre eigene Dichtigkeit = d′, und die Länge der Säule e b = l in Par. Fuſsen ausgedrückt heiſst, ſo iſt $d' = d\,(1 - \frac{lw}{32})$.

Das Füllen der Heber geſchieht in den bei weitem meiſten Fällen durch Sauger, indem man die Luft aus dem Ende des Schenkels b durch Saugen mit dem Munde wegnimmt, bis die in demſelben befindliche Flüſſigkeitsſäule länger iſt, als die im andern Schenkel und der Heber von ſelbſt flieſst. Man kann durch Saugen faſt ein vollſtändiges Vacuum hervorbringen, und hiernach kann kein Heber ſo hoch ſeyn, daſs man nicht im Stande wäre, ihn auf dieſe Weiſe zu füllen. Indeſs könnte der Fall kommen, daſs man bei der Einſenkung beider Schenkel in die Flüſſigkeit, oder wenn das Ende b der Röhre mit dem Munde nicht erreichbar wäre, den Heber zu füllen wünſchte, und dann wäre es einfach, die Luft an der oberen Biegung Fig. 38. durch Saugen an der Röhre c wegzunehmen, den Hahn hernach zu ſchlieſsen, und auf dieſe Weiſe das Flieſsen des Hebers zu bewirken, eine Einrichtung, welche zwar vorgeſchlagen, aber nicht ſehr gebräuchlich iſt. Auch an den Schenkeln a und b können Hahnen angebracht, und dieſe verſchloſſen werden.

Digitized by Google

Iſt dann der Heber durch c gefüllt und mit den Schenkeln in die Flüssigkeiten getaucht, so wird er nach dem Oeffnen der unteren und dem Verschlieſsen des oberen Hahns zu flieſsen anfangen. Man hat indeſs wohl an kleineren Hebern diese Einrichtung, daſs man oben ein Rohr zum Aussaugen der Luft anbringt, dieses dann nach dem Saugen mit dem Finger verschlieſst, oder so lange zwischen den Lippen hält, bis das Flieſsen des Hebers beendigt ist. Dieses geschieht in denjenigen Fällen, wenn man Flüssigkeiten, welche ekelhaft, oder den Theilen des Mundes durch ihre Berührung gefährlich sind, über einem lockeren Bodensatze wegnehmen will, damit letzterer nicht durch eine Bewegung des Gefäſses wieder mit der geklärten Flüssigkeit gemengt werde. Man bringt dann meistens an den unteren Theil des längeren Schenkels b die aufwärts gebo- Fig. 39.
gene Röhre bd an, senkt den kürzeren in die Flüssigkeit, verschlieſst die Mündung des längeren bei b mit dem Finger, saugt an d, bis bc sich mit der Flüssigkeit gefüllt hat, worauf dann der Heber weiter flieſsen wird. Ein solcher Heber heiſst ein *doppelter* (siphon double ou de laboratoire), bei einigen Schriftstellern auch ein *pharmaceutischer*. Sonst kann man den Heber auch als eine communicirende Röhre umkehren, anfüllen, die beiden Schenkelöffnungen mit den Fingern verschlieſsen, abermals in seine gehörige Lage umkehren, und den einen oder beide Schenkel unter die Flüssigkeit getaucht öffnen, worauf er zu flieſsen anfangen wird.

Eine sinnreiche Methode zur leichten Füllung des Hebers ist folgende durch Bunten angegeben[1]. Man bläst den längeren Schenkel an einer Stelle nicht weit unter der Biegung zu Fig. 40.
einer Kugel g auf, füllt diese und einen Theil des Schenkels mit der Flüssigkeit, kehrt den Heber um, und senkt den kürzeren Schenkel in das erfüllte Gefäſs, so wird die herabflieſsende gröſsere Menge der Flüssigkeit in der Kugel den längeren Heberarm füllen, und das Flieſsen bewirken, während sie selbst sich ohne Nachtheil mit Luft füllt. Ein anderer, nicht minder sinnreicher Vorschlag ist durch Hempel[2] gemacht. Um Fig. 41.
den Heber zu füllen, wird der kürzere Schenkel a in die ge-

1 Journal de Pharmacie 1824. Avril. p. 189. Daraus in Edinb. Journ. of Science. Nr. 11. p. 343.

2 Ebend.

Digitized by Google

krümmte Röhre g geſteckt, und dann in die Flüſsigkeit herabgeſenkt. Man gieſst hierauf Flüſsigkeit in den Trichter d, bis ſich auch der längere Schenkel gefüllt hat, zieht dann das Ende a des kürzeren Schenkels aus der Röhre g, und der Heber wird zu flieſsen fortfahren. Der Conſtruction des doppelten Hebers ähnlich iſt eine durch BAUMGARTNER[1] angegebene. Der längere Schenkel des Hebers a c b wird bei b wieder umgebogen, und die lange Röhre b g endigt oben in einen Trichter, in der Biegung bei b aber befindet ſich ein kleines Loch. Letzteres wird mit dem Finger verſchloſſen, und in g Flüſsigkeit gegoſſen, bis diese bis an c hinaufſteigt, dann wird das Löchelchen bei b geöffnet, und der Heber fängt an zu flieſsen. Sind die Flüſsigkeiten, welche man mit einem Heber aus einem Gefäſse in ein anderes überführen will, von der Art, daſs ſie durch eine geringe Bewegung nicht getrübt werden, ſo kann dem einen Schenkel unten ein Ventil gegeben werden, und man erhält den ſogenannten Ventilheber (siphon à soupape), eine weniger bekannte Vorrichtung, welche aber noch obendrein den Vortheil gewährt, daſs ein zufälliges Erheben des längeren Schenkels die Flüſsigkeit nicht ſogleich rückwärts flieſsen macht, jedoch muſs auch die Strömung im Heber ſtark genug ſeyn, um das Ventil ſtets offen zu erhalten. Die einfache Vorrichtung hat groſse Aehnlichkeit mit der *Mayer'ſchen Röhre*[2]. Der Heber a c b iſt auf die gewöhnliche Art gebogen, am kürzeren Schenkel a aber mit einem kleinen Gefäſse verſehen, auf deſſen Boden ſich ein gewöhnliches Klappenventil befindet, welches ſehr leicht beweglich ſeyn muſs. Wird dieſes Ende unter das Niveau der Flüſsigkeit *αα* getaucht, ſo füllt ſich daſſelbe mit einem Theile der Flüſsigkeit, und wird dann der Heber ſtoſsweiſe auf und nieder bewegt, ſo hebt ſich die Flüſsigkeit ſtets mehr in dieſem Schenkel, indem das Ventil kein Zurückflieſsen geſtattet, ſteigt über den höchſten Punct der Krümmung bei c hinaus, und mit Hülfe einiger Neigung fängt der Heber an zu flieſsen[3].

Fig. 42.

Fig. 43.

Endlich kann man mit einiger leicht zu erlangenden Fertigkeit einen Heber auch durch ſchnelles Einblaſen der Luft

1 Zeitſchrift für Phyſik und Mathematik. Wien 1826. 1. 70.
2 S. Th. I. S. 266.
3 Encyclop. méthod. T. IV. p. 584.

Digitized by Google

füllen. Der gewöhnliche Heber acb ist von a nach d wieder Fig.
aufwärts gebogen. Unten bei a befindet sich ein kleines Loch, 44.
durch welches sich die beiden Schenkel bei a mit der Flüssigkeit bis zum Niveau derselben füllen. Bläſst man hernach in d, so wird die Säule der Flüssigkeit $\alpha a \alpha$ durch das Löchelchen nicht so schnell entweichen können, vielmehr über c hinausgetrieben werden, und den Heber zum Flieſsen bringen, wenn sie hierzu lang genug ist[1].

Die Geschwindigkeit des Flieſsens beim Heber, und diesemnach auch die Menge der Flüssigkeit, welche er liefert, nimmt ab, je mehr sich das Niveau in beiden Schenkeln dem horizontalen nähert, und wird $= 0$, wenn Letzteres wirklich eingetreten ist. Es läſst sich indeſs auch ein in vielen Fällen mit Nutzen anwendbarer Hebel construiren, welcher einen stets gleichmäſsigen Abfluſs giebt. Zu diesem Ende läſst man auf Fig.
der Oberfläche der Flüssigkeit $\alpha\alpha$ den hohlen Kranz BB schwim- 45.
men, steckt durch eine Oeffnung in demselben den einen Schenkel a des Hebers, während der andere über den Rand des Gefäſses hinausragt. So wie dann das Niveau der Flüssigkeit sinkt, wird auch der Kranz hinabsinken, und auf diese Weise der Unterschied des Niveau's in beiden Schenkeln, also auch die Geschwindigkeit des Abflieſsens unverändert erhalten werden.

Da der Heber um so schneller flieſst, je tiefer der längere Schenkel unter Niveau der Flüssigkeit im Gefäſse herabgeht, so läſst sich der hierdurch bewirkte Fall der Flüssigkeit zum Steigen derselben wieder benutzen, und man erhält den sogenannten *Springheber.* Bei demselben ist nichts weiter erforderlich, als das untere Ende der Röhre wieder aufwärts zu biegen und in Fig.
eine Spitze auszuziehen, worauf dann der aufspringende Was- 46.
serstrahl be sich zwar nicht bis zum Niveau des Wassers im Gefäſse erheben kann, wohl aber um so weniger unter dieser Höhe bleiben wird, je geeigneter das Verhältniſs der Oeffnung bei b, die Weite der Röhre und die übrigen Bedingungen zur Erzeugung einer möglichst hohen Sprunghöhe sind. Ist das Ende b Fig.
mit einer kreisförmigen Scheibe oder einem Ringe versehen, 47.
worin sich eine Menge kleiner Löcher befinden, so erhält man

1 G. G. Schmidt Hand- und Lehrbuch d. Physik. Gieſsen 1826. S. 209. Vergl. Lowitz Sammlung der Versuche, wodurch sich die Eigenschaften der Luft begreiflich machen lassen. Nürnb. 1754. 4.

Digitized by Google

den sogenannten *Sonnenheber* (siphon à soleil), eine bloſse Spielerei, welche keiner weiteren Erläuterung bedarf. Sonstige Spielereien mit Hebern findet man bei Wolf[1], Lehmann[2] und in Menge schon beim Heron von Alexandrien.

Nicht ganz überflüssig für die Theorie ist der unterbrochene Heber *(sipho interruptus)* und zugleich ist dieser als Spielerei interessant, wenn man ihn mit einer Röhre verbindet, um einen aufspringenden Wasserstrahl zu erhalten, (siphon à jet d' eau dans le vide). Unter den verschiedenen Arten der Construction scheint mir folgende die beste zu seyn. Der gläserne Cylinder AB, welcher am besten bei A mit einem Fuſse versehen wird, um ihn darauf zu stellen, hat unten eine messingne Fassung *γγ*, welche in der Mitte durchbohrt ist, um das eingeschrobene, bei e in eine Spitze zulaufende Rohr ae aufzunehmen. Ehe dieses eingeschroben wird, muſs zuvor das zweite, ungleich längere, und bei d gebogene, Rohr db gleichfalls eingeschraubt seyn, indem dieses Einschrauben der unbeholfenen Länge wegen auf allen Fall besser ist, als das Festlöthen desselben. Ist das Rohr db fest, so gieſst man durch die Oeffnung des herausgenommenen Rohrs ae etwa ein gemeines Trinkglas voll Wasser in den Cylinder, schraubt das Rohr ae ein, kehrt den Heber um, so daſs das Rohr ae in das Wassergefäſs D gesenkt ist, das Wasser im Cylinder flieſst durch das Rohr db herab, und der Heber fängt an zu springen, dieses aber dauert so lange, als der Verlust des durch das Rohr db abflieſsenden Wassers durch das aus der Oeffnung e springende wieder ersetzt wird. Die Erscheinung ist übrigens ganz einfach durch die Länge des Schenkels db bedingt. Denkt man sich nämlich die Springröhre e bis an das Ende des Cylinders verlängert, dort wieder umgebogen, und bis in die Oeffnung des andern Schenkels db zurückgeführt, so würden die Wassersäulen in beiden Schenkeln über dem Niveau *αα* sich das Gleichgewicht halten, die in dem Ende des langen Schenkels unter *α* bis b befindliche aber durch die ihrer Höhe proportionale Fallgeschwindigkeit eine dieser letzteren gleichfalls proportionale Geschwindigkeit des Flieſsens des Wassers in nen

Fig. 48.

1 Elementa Matheseos. Hydraul. §. 79. SO.
2 Dissert. de Siphonibus. Lips. 1710. 4.

oberen Theilen der Schenkel erzeugen, und werden dann diese weggenommen, so muſs das Wasser aus e zu einer dieser Geschwindigkeit proportionalen Höhe springen, welche durch die etwas verminderte Dichtigkeit der Luft im Cylinder und den hiernach etwas geringeren Widerstand derselben gegen den Wasserstrahl noch um eine Kleinigkeit vermehrt werden wird.

Eine minder interessante Spielerei mit dem Hebel ist die sogenannte *fraterna caritas.* Aus einer hohlen gläsernen Kugel oder einem anders gestalteten Raume A laufen 2 oder 3 oder mehrere gläserne, etwa zwei Lin. weite und oben gebogene Röhren aus, gehen dann unten lothrecht herab, und werden in eben so viele Gefäſse mit Wasser gesenkt, nachdem vorher der Apparat umgekehrt, und mit Wasser angefüllt ist, wobei letzteres aus dem Raume A herabflieſsend die Schenkel a, b, c, d,..... so lange voll erhält, bis man ihre Mündungen in die einzelnen vorher mit Wasser gefüllten Gefäſse hinabgesenkt hat. Wäre es der Mühe werth, so könnte man den Apparat bequemer einrichten, den gemeinschaftlichen Verbindungsraum aller Schenkel A oben mit einer geeigneten Fassung versehen und durch einen Hahn verschlieſsen, um die Luft in demselben durch Saugen mit dem Munde oder einer kleinen Pumpe luftleer zu machen. Indem aber jedes einzelne harabgehende Rohr mit einem jeden der andern einen Heber bildet, so wird das Niveau in allen Gefäſsen in der nämlichen horizontalen Ebene liegen, und dieses gleiche Niveau wird auch sofort wieder hergestellt werden, wenn man dem einen der Gefäſse etwas zusetzt oder aus demselben wegnimmt, und von dieser stets gleichmäſsigen Vertheilung hat der Apparat seinen Namen erhalten. Fig. 49.

Eine der belehrendsten Modificationen des Hebers ist die sich selbst füllende, und wieder entleerende, schon dem Heron bekannte, *diabetes,* welcher unter den vielfachsten Gestalten dargestellt werden kann, und meistens als ein versteckter Heber eingerichtet wird. In das bodenlose gläserne Gefäſs A wird unten ein Kork e e gekittet, welcher durchbohrt ist, und eine durch diese Oeffnung gehende, heberförmig gebogene Röhre a c b trägt. Das Gefäſs läſst sich dann bis nahe unter das Niveau $\alpha\alpha$ mit Wasser füllen, ohne daſs der Heber zu flieſsen anfängt; hat dasselbe aber jene Grenze erreicht, und ist es zugleich in dem kürzeren Schenkel a c aufgestiegen, so wird es sogleich bei c in den längeren Schenkel herabflieſsen, und Fig. 50

dann das ganze Gefäſs durch den Heber ausgeleert werden. Man nennt daher einen solchen Apparat auch einen *Vexirbecher* oder *künstlichen Tantalus*, Letzteres aus einer kaum aufzufindenden Aehnlichkeit mit der Fabel vom Phrygischen König Tantalus, welcher der Sage nach in der Unterwelt bis an den Hals im Wasser stehend beständig an Durst litt, weil das Wasser augenblicklich zurückwich, wenn er sich demselben, um zu trinken, näherte. Man wählt in diesem Falle auch wohl die Gestalt ei-
Fig. 51. nes wirklichen Bechers A, dessen Handgriff acb den versteckten Heber bildet. Es läſst sich an diesem Apparate zugleich zeigen, daſs die beiden Schenkel des Hebers einander nicht bloſs nahe kommen, sondern selbst in einander liegen können. Hier-
Fig. 52. nach senkt man durch den Kork ee im bodenlosen Glase A die Röhre bc herab, stürzt über diese an beiden Enden offene die weitere ca, welche oben verschlossen ist, und mit ihrem unteren Rande bei a auf der Fläche des Korkes nicht genau schlieſsend stehen darf. Wird dann das Gefäſs mit Wasser bis an die Grenze *αα* angefüllt, und steigt dieses bis in die Wölbung bei c auf, so fällt es durch die Röhre b herab, und es bildet sich ein Heber, welcher so lange flieſst, bis das Gefäſs völlig leer ist. Alle die verschiedenen Abänderungen einzeln anzugeben, in denen dieser Heber dargestellt werden kann, z. B. als Waschgefäſs mit darin stehender Kanne, als Badewanne mit einer darin sitzenden Figur u. s. w. wäre überflüssig, wohl aber verdient bemerkt zu werden, daſs nach dieser Art geformte Canäle in unterirdischen Höhlen befindlich eine Erklärung der intermittirenden Brunnen und periodischen Quellen geben[1].

Die Theorie des Hebers ist so einfach und wohl begründet, daſs nicht füglich Einwürfe dagegen gemacht werden, oder damit im Widerspruch stehende Erscheinungen vorkommen können. So wie aber Roberval in seinem *problema staticum* einen mit dem Gesetze des Hebels im Widerspruche stehenden Apparat aufgefunden zu haben vorgab, zeigte auch gegen das Ende des 17. Jahrhunderts Joh. Jordan, ein Einwohner in Stuttgard auf eine geheimniſsvolle Weise an, daſs er einen Heber construirt habe, aus dessen beiden gleich langen Schenkeln und bei gleichem Niveau der Flüssigkeit das Wasser aus jedem Schenkel beliebig abflieſse. Der Herzog Friedrich Carl von

1 S. *Quellen*.

Würtenberg lieſs den Apparat nach dessen Angabe verfertigen, so daſs die Schenkel eine Länge, jeder von 20 Fuſs und einen Abstand von 18 F. hatten, Salomon Reisel aber, der herzogliche Leibarzt, gab 1684 die erste unverständliche Nachricht von demselben. Bald nachher zeigte Dionysius Papinus[1], daſs die ganze Sache nichts von den gewöhnlichen Erscheinungen des Heber's Abweichendes habe, und Reisel[2] gestand nachher selbst, daſs der von jenem beschriebene Heber mit dem von ihm selbst angedeuteten dem Wesen nach identisch sey. Seitdem heiſst dieser Heber der *Reisel'sche* oder *Würtemberg'sche*, Fig. 53. und ist von folgender Construction. Die zweimal gebogene mit gleich langen Schenkeln herabgehende Röhre ab bildet einen gemeinen Heber, dessen beide umgebogene Schenkel in die Gefäſse A und A′ münden. Werden die Mündungen a und b verschlossen, bis durch e soviel Wasser eingegossen ist, daſs die Schenkel ganz damit gefüllt sind, so wird die Oeffnung e vermittelst eines Korkes luftdicht verschlossen, in eins der Gefäſse A oder A′ aber Wasser gegossen, bis in beiden das gleiche horizontale Niveau $\alpha\alpha$ hergestellt ist. Oeffnet man demnächst einen von den Hahnen $\delta$ oder $\delta'$, so wird aus jedem geöffneten oder auch aus beiden zugleich das Wasser ausflieſsen, wenn beide gleichzeitig geöffnet werden. Dieses ist indeſs ganz natürlich und nothwendig, da das Niveau jedes der Hahnen niedriger liegt als der Wasserspiegel $\alpha\alpha$, so daſs also das Wasser aus jedem ausflieſsen muſs, wenn beide geöffnet sind, und findet bloſs aus einem ein Abfluſs statt, so stellt sich das Niveau $\alpha\alpha$ wieder her, wie dieses aus der Natur des Hebers nothwendig folgt[3]. Der Heber läſst sich auf eine dem Würtemberg'schen Fig. 54. nahe kommende Art herstellen, so daſs sich bloſs am einen Schenkel a ein Gefäſs A befindet, welches höher ist als die obere Biegung des Hebers. Wird dann das Gefäſs bis an das Niveau $\alpha\alpha$ mit Wasser angefüllt, so strömt es bei c in den andern Schenkel über, der Heber fängt an zu flieſsen, bis das Wasser die Mündung a erreicht hat, und steht dann still.

Aus der Theorie des Hebers folgt ferner, daſs derselbe im

---

1 Phil. Trans. 1685. XIII. N. 167.

2 Sipho Wirtembergicus per maiora experimenta firmatus. Stuttgard. 1690. 4.

3 Vergl. Musschenbroek Introd. §. 2098.



Digitized by Google

luftleeren Raume nicht flieſsen kann, weil darin die Waſſerſäulen im Heber nicht durch den Luftdruck gehoben werden. Bei der mangelhaften Beschaffenheit der ehemaligen Luftpumpen ist es leicht begreiflich, daſs dieser Versuch, den Heber im Guerick'schen Vacuo zum Stillstehen zu bringen, scheitern muſste, aber es beweiset zugleich, wie wenig die Gelehrten damals in der physikalischen Theorie desselben fest waren, daſs sie sich durch die Schwierigkeit des Experimentes in der Festhaltung derselben wankend machen lieſsen. Auch Wolf[1] gesteht, daſs ihm der Versuch nicht gelungen sey, den Heber unter der Luftpumpe zum Stillstehen zu bringen. Einige lieſsen sich hierdurch verleiten, die richtige Erklärung des Hebers aufzugeben, und das Flieſsen desselben aus einem Zusammenhange des vorangehenden Wassers mit dem nachfolgenden abzuleiten, welches nach Kaestner's Bemerkung[2] Stricke aus Sand drehen heiſst. Inzwischen hatte schon Homberg[3] genügend nachgewiesen, warum der Heber in einem nicht vollständigen Vacuo zu flieſsen fortfahren müsse, indem er zeigte, daſs der ganze Luftdruck 32 F. Wasser zu heben vermöge, mithin bei einer hundertfachen Verdünnung noch immer ein Heber von $\frac{32}{100}$ F. oder beinahe 4 Z. zu flieſsen fortfahren müsse. Auf eine einfache Weise kann auch gezeigt werden, daſs bei dem Verhältniſs des specif. Gewichtes von Wasser und Quecksilber = 1 : 13,597 oder = 1 : 13,6 durch den Druck der verdünnten Luft eine 13,6 mal so hohe Wassersäule gehoben wird, als die Höhe der Quecksilbersäule beträgt, welche der Elasticität der noch übrig bleibenden Luft proportional ist. Wenn also der Unterschied der Quecksilberhöhen in beiden Barometern der Luftpumpe 0,5 Zoll beträgt, so können die Schenkel des Hebers im Guerick'schen Vacuo 6,8 Z. lang seyn, ohne daſs derselbe stillsteht. Indem aber die schlechte Construction noch vorhandener Luftpumpen aus jenen Zeiten, als Kaestner sich darüber ereiferte, daſs man fest begründete Schlüsse den Resultaten mangelhafter Versuche aufopfern wolle, genugsam beweiset, daſs sie kein vollständigeres Vacuum zu erzeugen vermochten, als welches der angegebenen Differenz der Quecksilberhöhen zugehört, so er-

1 Nützliche Versuche Th. III. Cap. 9. §. 123.
2 Anmerkungen über die Markscheidekunst. Gött. 1775. 8. Vorr.
3 Mém. de Par. 1714. p. 84.

giebt sich hieraus klar, daſs das Wasser in den kurzen, eine Höhe von 6 Z. kaum erreichenden Schenkeln ihrer Heber kein Wasserbarometer bilden, folglich auch der Heber zu flieſsen nicht aufhören konnte. Tetens[1], nach ihm Gehler u. a. finden noch eine Ursache des Miſslingens dieses Experimentes in den Dämpfen des Wassers und in der aus demselben aufsteigenden Luft; allein letztere kann durch längeres Exantliren weggeschafft werden, und erstere entwickeln sich auch von gleicher Elasticität in den Schenkeln des Hebers selbst, wodurch die Wirkung der unter der Campane befindlichen aufgehoben wird, so daſs also die Temperatur des angewandten Wassers auf das Gelingen des Versuchs keinen Einfluſs hat. Weil das Experiment, den Heber im Vacuo zum Stillstehen zu bringen, diesemnach an sich schwierig ist, so schlägt Parrot[2] vor, das Gefäſs A, worin sich Fig. 55.
der Heber befindet, mit einem Deckel zu versehen, welcher der Luft keinen andern Zutritt gestattet, als durch die Oeffnung e. Wird diese daher mit einem Korke verschlossen, so erhält die über dem Wasserspiegel *aa* befindliche Luft eine Verdünnung, so daſs der Unterschied ihrer Dichtigkeit gegen die der äuſsern atmosphärischen Luft einer Wassersäule von der Höhe *a* b zugehört, und der Heber wird also zu flieſsen aufhören. Man kann auch die Oeffnung e wiederholt öffnen und schlieſsen, um den nämlichen Erfolg mehrmals zu zeigen. Soll dieser, für die Theorie des Hebers allerdings sinnreiche, Apparat den für das Stillstehen des Hebers im Vacuo nicht ersetzen, so läſst sich letzterer auf folgende Weise bequem construiren. Auf dem Teller der Luftpumpe, unter der Campane A befindet sich ein etwa 14 bis 16 Z. hohes Cylinderglas in den messingnen Ring i i Fig. 56.
hinabgedrückt, welcher auf dem Boden des messingenen cylindrischen Gefäſses d d festgelöthet ist. Der Inhalt des Glases C und des Gefäſses d d müssen einander mit einem kleinen Ueberschusse des letzteren gleich seyn, damit das Wasser nicht über den Rand des Gefäſses steigt. Das Glas hat oben eine metallene Fassung von etwa 1 Z. Höhe, durch welche der gläserne Heber a c b gesteckt und in der Oeffnung dann verkittet ist. Der so vorgerichtete Apparat wird auf den Teller der Luftpumpe ge-

1 De causa fluxus siphonis bicruralis in vacuo continuati. Butzov. 1763. 4.

2 Grundriſs der theoretischen Physik. I. 873.

Digitized by Google

stellt, das Glas C mit Wasser gefüllt, die Campane darüber gestürzt, mit dem Deckel gh oben geschlossen, durch welchen in einer Lederbüchse ein Draht k herabgeht, um einen Kork oder ein Stück Holz n zu tragen. Ist dann das erforderliche Vacuum hergestellt, so drückt man den Kork n in das Wasser des Glases hinab, der Heber läuft über und fängt an zu flieſsen, bis er still steht, wenn das Niveau $\alpha\alpha$ so weit gesunken ist, daſs die Wassersäulen in den Schenkeln desselben von $\alpha$ bis c gröſsere Höhen erreicht haben, als welche dem Drucke der unter der Campane noch befindlichen Luft zugehören. Läſst man eine geringe Quantität Luft unter die Campane, so fängt er abermals an zu flieſsen, bis er wieder still steht, und beide Schenkel bilden zwei in ein gemeinschaftliches Vacuum übergehende ganz eigentliche abgekürzte Wasserbarometer, in welcher Hinsicht diese Construction vorzüglich belehrend ist.

Praktische Anwendungen des Hebers im Maschinenwesen hat man kaum einige zu machen versucht. Schon ehe die richtige Theorie desselben bekannt war, schlug Johann Baptista Porta[1] vor, das Wasser vermittelst eines Hebers über Berge zu leiten. Es sollen zu diesem Ende beide Schenkel mit Hahnen verschlossen seyn, oben an der höchsten Stelle wird ein Rohr zum Füllen angebracht, dieses nachher durch einen Hahn oder auf sonstige Weise luftdicht verschlossen, und wenn dann beide Hahnen an den Enden geöffnet sind, so wird der Heber zu flieſsen beginnen. Schwenter[2] wiederholt Porta's Vorschlag mit dem Zusatze, der schwerere Theil nöthige das Leichtere, daſs es in die Höhe steigen müsse. Beiden war noch unbekannt, daſs die Höhe, über welche man das Wasser durch den Heber zu leiten vermag, 32 Par. Fuſs nicht erreichen darf, aus welcher Bedingung leicht erklärlich ist, warum der Vorschlag keine Anwendung gefunden hat, jedoch führte ein gewisser Büchner[3] denselben wirklich aus.

Leupold[4] beschreibt eine Maschine, durch welche vermittelst des Hebers das Wasser wirklich in die Höhe gefördert

---

1 Pneumaticorum Libri III. Neap. 1601. 4. L. III. c. 1.

2 Mathemat. Erquickungsstunden. Nürnb. 1651. XV T. 4. XIII. Aufg. 2.

3 Breslauische Sammlungen. 1720. Jan. Cl. V.

4 Theatr. mach. Hydraul. T. I. §. 12.

Digitized by Google

werden kann, obgleich dieses den Wirkungen des Hebers, unmittelbar betrachtet, widerstreitet. Die Steigröhre CE steht in Fig. 57. dem offenen, mit Wasser gefüllten Gefäſse AB, und ist oben in das luftdichte Gefäſs FG hinein geleitet. Dem ersteren Gefäſse AB gegenüber wird ein anderes, gleichfalls mit Wasser gefülltes Gefaſs KL angebracht, welches mit dem Gefäſse FG durch die Röhre HI verbunden, übrigens aber gegen das Eindringen der äuſseren Luft sorgfältig verwahrt ist. Am Boden desselben ist die mit dem Hahne O versehene Röhre MN angebracht, welche tiefer herabgehen muſs, als die untere Oeffnung der Steigröhre C. Wird der Hahn O geöffnet, so läuft das Wasser aus dem Gefäſse KL durch die Röhre MN ab, welche bei gröſserer Weite in ein Behältniſs mit Wasser münden muſs, um das Aufsteigen der Luft neben dem herabflieſsenden Wasser zu verhüten, die Luft in HI, FG und EC breitet sich in den Raum des vom Wasser entleerten Gefäſses KL aus, wird verdünnter, und der Druck der äuſseren Luft treibt das Wasser aus dem Gefäſse AB durch das Rohr CE in das Gefäſs FG. Wenn der Behälter AB einen beständigen Zufluſs hat, so kann man zwischen AB und KL eine Verbindung durch eine Röhre mit dem Hahne P machen, und zugleich an FG eine Ablaufröhre mit dem Hahne Q anbringen. Wird dann P und Q geöffnet, O aber verschlossen, so füllt sich KL mit Wasser, die Luft entweicht durch HI aus Q, bis KL gefüllt ist, dann wird P und Q verschlossen, O dagegen geöffnet, und das Wasser steigt durch CE in das Gefäſs FG. Dieses Verfahren läſst sich wiederholen, und da bei dem zweiten Oeffnen der Hahnen P und Q nach dem Verschlieſsen von O Wasser statt Luft aus dem Hahne Q flieſst, so wird demnächst jedesmal das Wasser von A bis Q gehoben, und wenn das bis dahin gehobene Wasser zu einer zweiten ähnlichen Vorrichtung benutzt wird, so kann man hiernach durch Verbindung mehrerer solcher Vorrichtungen das Wasser zu beliebigen Höhen fördern. Die Steigröhre CE muſs indeſs viel unter 32 F. hoch seyn, da das Gefäſs FG nie luftleer wird. Wird z. B. die Luft in CE, FG und HI durch das Auslaufen des Wassers aus KL bis zur Hälfte verdünnt, für welchen Fall der Cubikinhalt der Röhren CE und HI, nebst dem des Gefäſses FG dem des Behälters KL gleich seyn muſs, so wird die Luft zur Hälfte der atmosphärischen Dichtigkeit verdünnt, und die Länge von CE darf 16 F. nicht übersteigen.

Digitized by Google

Nach Leupold soll daher der Cubik-Inhalt von KL doppelt so groſs als von FG seyn. Um diese Maschine im Groſsen anzuwenden ist eine Vorrichtung zum Oeffnen und Verschlieſsen der Hähne erforderlich. Schott[1] beschreibt eine solche Maschine, durch welche Jeremias Mitz, ein Einwohner in Basel, das Wasser in seinem Hause in einen erhabenen Behälter leitete. Leupold giebt eine ähnliche Einrichtung an, welche sich von dieser bloſs durch den Mechanismus zur Oeffnung der Hähne unterscheidet, auch zeigt er, eben wie Wolf[2], auf welche Weise mehrere solche unterbrochene Heber zu verbinden sind, um das Wasser auf gröſsere Höhen zu leiten, am vollständigsten und gründlichsten aber handelt Borgnis[3] über die Anwendung des Hebers zu hydraulischen Maschinen, obgleich die Natur desselben nur einen für wenige Zwecke anwendbaren Gebrauch gestattet. Auf eine sinnreiche Weise hat endlich auch Mannoury-Dectot den unterbrochenen Heber mit einer Art von Heronsbrunnen verbunden, zur Förderung des Wassers in die Höhe benutzt, aber gleichfalls mit einem bedeutenden Verluste von Wasser[4].

Am häufigsten würde der Heber bei den vielartigen chemischen und pharmaceutischen Operationen in Anwendung kommen, auch wird er dabei nicht eben selten gebraucht, allein immerhin viel seltener als der Fall seyn würde, wenn er nicht in sehr vielen Fällen durch die ungleich bequemeren Saugröhren oder sogenannten *Pipetten*[5] ersetzt würde. Solche für das Filtriren, Decantiren u. s. w. bestimmte Heber werden in ihrer Construction durch die Art des Aufgehängtseyns, durch die nicht allgemein paſsliche Gröſse u. s. w. leicht etwas unbequem im Gebrauche, so daſs der Chemiker oft mit einem einfachen Stechheber seinen Zweck in kürzerer Zeit erreicht, als nur zur Herstellung des Heberapparats erforderlich seyn würde. Es scheint mir daher auch überflüssig, den allerdings in seiner Construction sehr zusammengesetzten sogenannten *pharmaceu-*

1 Technica curiosa L. V. Cap. 1 bis 3.

2 Elementa Matheseos. Hydraul. §. 79 u. 80.

3 Traité complet de Mécan. appliquée aux Arts. Mach. hydraul. Par. 1819. 4. p. 60.

4 G. XLIII. 156.

5 Vergl. *Stechheber*.

Digitized by Google

*tischen Heber*, welchen Siegling vorgeschlagen hat[1], zu beschreiben, und glaube ich mir dieses um so mehr ersparen zu dürfen, als ich mich nicht besinne, ihn irgendwo in den chemischen Laboratorien angewandt gefunden zu haben. Um die zu filtrirenden Flüssigkeiten tropfenweise auf das Filtrum fallen zu lassen, ändert Gustav Bischof[2] den gemeinen Heber mit einer angeschmolzenen Saugröhre auf die Weise ab, daſs der kürzere Schenkel in eine feine Spitze ausgezogen wird, damit die zu filtrirende Flüssigkeit nur tropfenweise auf das Filtrum herabfällt. Der zweimal rechtwinklich gebogene Heber a c b wird am kürzeren Schenkel a in eine feine Spitze ausgezogen, damit die im Gefäſse A enthaltene Flüssigkeit nur in geringer Quantität in dieselbe eindringen könne. Der längere Schenkel b ist durch einen luftdicht schlieſsenden, oben verkitteten, Kork g h in die unten verjüngte Glasröhre D gesenkt, und neben demselben die Röhre d e. Soll der Heber zu laufen anfangen, so verschlieſst man die Spitze f mit dem Finger, saugt an dem Röhrenende d, bis sich der Heber gefüllt hat, setzt den schon im Gefäſse B befindlichen Filtrirtrichter C mit dem Filtro unter die Spitze f, und hebt den Finger ab, so wird das Filtriren seinen Anfang nehmen. Ob nicht die feine Spitze a leicht verstopft werde, welchen Einwurf der Erfinder selbst gemacht hat, darüber wage ich nicht zu entscheiden, in vielen Fällen aber wird der oben angegebene schwimmende Heber, bei welchem die Geschwindigkeit des Abflieſsens durch das Verschieben des einen Schenkels in dem Schwimmer regulirt werden kann, zur Anwendung bequemer und mehr geeignet seyn. Fig. 58. Fig. 45.

Der anatomische Heber (*sipho anatomicus*, siphon anatomique) ist eigentlich kein Heber, sondern ein Apparat, welcher sehr dazu geeignet ist, die Gesetze des hydrostatischen Druckes der Flüssigkeiten anschaulich zu machen, und dem *follis hydrostaticus* von s'Gravesande und dem *tubus hydrostaticus* von Volder an die Seite gesetzt werden kann; von dem Erfinder wird er Wolf's anatomischer Heber genannt[3]. Ein cylindrisches Gefäſs von Blech FGED ist seit- Fig. 59.

1 Trommsdorff Journ. d. Pharm. VI. 1. p. 1.

2 Schweigger's Journ. XL. 478.

3 Elementa Mathes. Hydrost. Cap. II. §. 52.

wärts mit der engen und hohen Röhre HI versehen, welche zur Bequemlichkeit des Eingieſsens oben bei H einen Trichter hat. Ueber den Rand FD des Gefäſses wird eine Thierblase gebunden und Wasser in den Trichter H gegossen, bis die untere Mündung des Rohres unter dem Wasserspiegel im Gefäſse ist, weswegen dasselbe zweckmäſsiger nahe über dem Boden des Gefäſses anzubringen, letzteres selbst aber etwas niedriger zu verfertigen wäre, als in der Zeichnung angegeben ist und meistens geschieht. Ist das Gefäſs luftdicht durch die Blase verschlossen, so drückt die comprimirte Luft gegen die letztere, und treibt sie in gewölbter Gestalt empor, widrigenfalls geschieht dieses durch das allmälig höher steigende Wasser. Nach hydrostatischen Gesetzen würde eine das cylindrische Gefäſs bei FD schneidende geometrische Ebene durch den nach oben stattfindenden Druck der Flüssigkeit einen Wassercylinder FKLD zu tragen vermögend seyn, und wenn dieser nicht vorhanden ist, so muſs die Thierblase von unten her einen Druck erleiden, welcher dem Gewichte eines solchen Cylinders gleich ist. Man kann daher mit einem geringen Gewichte Wassers in der Röhre HI einen sehr groſsen Druck gegen die Fläche FD erzeugen. Bei dem Heber, dessen sich Wolf[1] bediente, war die Röhre 11 Lin. weit, und 250 Lin. höher als das Gefäſs, so daſs sie also 1,5 Pf. Wasser faſste, das Gefäſs dagegen hatte 48 Lin. im Durchmesser, und konnte daher mit 30 Pf. belastet werden. Ueberhaupt verhalten sich die Gewichte gleich hoher Cylinder wie die Quadrate ihrer Durchmesser, und wenn daher das Verhältniſs der Durchmesser bei der Röhre und dem Gefäſse = 1 : 10 ist, so wird die Blase das hundertfache Gewicht des Wassers in der Röhre zu tragen vermögen. Den Namen anatomischer Heber, hat Wolf diesem Apparate gegeben, weil durch den starken und überall gleichförmigen Druck der Luft oder des Wassers alle Häute und Gefäſse der Blase so aus einander getrieben werden, daſs man sie weit bequemer, als auf sonstige Weise von einander trennen, und die Structur der häutigen Theile wahrnehmen kann. Ob derselbe übrigens zu anatomischen Zwecken geeignet und dazu schon benutzt sey, kann ich nicht bestimmen.

*M.*

---

1 Nützliche Versuche Th. I. Cap. 3. §. 58.

# Heblade.

**Hebezeug**; Levier sans fin; ist ein einfacher, auf die Geſetze des Hebels gegründeter Apparat. Es läſst sich nämlich vermittelst des Hebels zwar mit jeder gegebenen Kraft jede gegebene Last heben, und wenn gleich dieser theoretische Satz wegen physisch hindernder Bedingungen keine allgemeine Anwendung leidet, so folgt doch aus ihm sowohl als auch aus allbekannten Erfahrungen, daſs man selbst mittelst des einfachen Hebels sehr groſse Lasten mit geringer Kraft zu heben vermag. Zugleich aber folgt aus dem im Art. *Hebel* erläuterten Cartesischen Gesetze, daſs die Höhe, bis zu welcher eine Last vermittelst eines Hebels gehoben werden kann, bei gleicher angewandter Kraft ihrer Gröſse umgekehrt proportional ist. Wirklich können auch groſse Lasten vermittelst des einfachen Hebels nur bis zu geringen Höhen gehoben werden. Man suchte daher diese geringen Höhen durch Vervielfältigung der Hebelwirkungen zu vermehren, und hieraus entstand die Heblade, welche unter verschiedenen Gestalten von den Mechanikern[1] dargestellt ist. Folgende zwei Arten sind die gebräuchlichsten. Die eine besteht aus zwei parallelen hölzernen Backen, welche auf Fig. 60. dem Fuſsgestelle AB aufgerichtet sind, und so weit von einander abstehen, daſs der Hebebaum a b sich leicht und frei zwischen ihnen bewegen kann. An beiden Seiten sind in lothrechter Linie und gleichen Abständen die Löcher e; e′; e″; .... ε; ε′; ε″; .... um einen eisernen Bolzen durchzustecken, worauf der Hebebaum ruhet. Ist letzterer dann mit einer Last am Ende a beschwert auf dem Bolzen in e ruhend, und wird das andere Ende b mit der Hand oder einem Seile herabgezogen, bis

1 Zuerst findet man sie von französischen Schriftstellern erwähnt in Recueil de plusieurs machines militaires et feux artificiels de la diligence de Franc. Thybourel, Maitre chyrurgien et de Jean Appier dit Hanzel de Cologne; Pont à Mousson 1620. Liv. III. chap. 20 und in Recréations mathématiques. Rouen 1634. P. 11. probl. 21. Hieraus durch Schwenter in: Mathematische Erquickungsstunden. Nürnb. 1651. 4. Th. XV. Aufg. 23. Deutlicher findet man sie beschrieben in Leupold Theatr. Mach. Cap. V. Tab. XVI. XVII. Die zweite zu beschreibende Heblade soll durch Perrault erfunden seyn. S. Mém. de l'Acad. 1716. Man findet sie in den meisten neueren Werken über die praktische Maschinenkunde.

Digitized by Google

der Hebebaum in die Lage $\alpha\beta$ gekommen ist, so steckt man einen Bolzen durch das Loch $\varepsilon$, hebt dann das Ende $\beta$ wieder in die Höhe, bis $\alpha\beta$ auf dem Bolzen e′ mit a b parallel ruhet, und hierdurch ist also die Last um die Höhe des Raumes zwischen e e′ gehoben. Durch Wiederholung dieses Verfahrens kann dieselbe dann zu der erforderlichen Höhe gebracht werden.

Dieser kunstlose Apparat erfordert in der Regel zwei Arbeiter, deren einer den Bolzen einstecken muſs, während der andere den Hebelarm $\beta$ niederhält. Hierzu wird indeſs ein gröſserer Aufwand von Zeit erfordert, als sonst nöthig seyn würde und die nämliche Idee kann daher auf folgende Weise ungleich
Fig. 61. besser realisirt werden. Auf dem Fuſsgestelle A B ruhet der eiserne Träger C, etwa 6 Z. breit und 1 bis 2 Z. dick. An beiden Seiten desselben befinden sich die Einschnitte e; e′; e″; .... und $\varepsilon$; $\varepsilon'$; $\varepsilon''$; .... in welche die Widerhaken $\delta$ und $\gamma$ eingreifen und das Herabfallen des Hebebaumes a b hindern. Letzterer ist in der Mitte so eingeschnitten, daſs der eiserne Träger C durch die Oeffnung gesteckt werden konnte; die Gegengewichte l, l′ drücken die Widerhaken so gegen die Einschnitte, daſs sie, ohne umzuschlagen, jederzeit in dieselben eingreifen. Wird also der Hebelarm b niedergedrückt, so steigt die Last P in die Höhe, bis der Haken $\gamma$ in den Einschnitt $\varepsilon'$ eingreift; läſst man aber den Hebelarm b wieder in die Höhe gehen, so schiebt sich der Haken $\delta$ hinauf, bis er in den Einschnitt e′ einfällt, und durch Wiederholung dieses Verfahrens wirkt diese Heblade ungleich schneller und bequemer, als die zuerst beschriebene. Daſs man diese Heblade auch im Kleinen zum Heben von Lasten ausführen könne, liegt sehr nahe bei der Sache.

Aehnlich sind die Hebemaschinen, welche man zum Ausreiſsen der Bäume vorgeschlagen hat. Eine solche ist angegeben durch Paul Sommer [1], Jobst Bösen [2], Polhem [3] und andere. Die von Sommer erfundene Maschine und einige mit Maschinen dieser Art angestellte Versuche findet man beschrieben durch Silberschlag [4]; indeſs erfordert ihre Construction

1 Mém. de la Soc. de Berne. Tom. I. p. 175. Vergl. Mill's Lehrbegriff der praktischen Feldwirthschaft. Leipz. 1764. I. 191.

2 J. Bösen's Hebmaschine. Gött. 1771.

3 Schwed. Abh. XVIII. 193.

4 G. C. Silberschlag's Closter-Bergische Versuche. Berl. 1768.

Digitized by Google

und selbst der bloſse Transport einen zu groſsen Aufwand, als daſs sie mit Nutzen angewandt werden könnten. Eben dieses gilt von der neuerdings durch Romershausen vorgeschlagenen Maschine dieser Art, welche aber nach dem Principe des Hebels und hauptsächlich der geneigten Ebene construirt ist.

*M.*

# Heizung.

*Calefactio*; Chauffage; *Warming.*

Die Heizung oder Erwärmung der Luft in den Zimmern, des Wassers in den Bädern, überhaupt der Oefen, der Heerde und zahllosen anderen Gegenstände zu den verschiedensten Zwecken, macht in ihrem ganzen Umfange einen bedeutenden Zweig der Technologie und Oekonomie aus, und würde mit Inbegriff der vielfachen Anwendungen eine sehr ausführliche Untersuchung erfordern. Alles dieses deswegen in das Gebiet der Physik zu ziehen, weil die dabei zum Grunde liegenden Principien dahin gehören, müſste eine übermäſsige Ausdehnung dieser Wissenschaft herbeiführen, und es wird daher genügen, nur eine kurze Uebersicht der wichtigsten Gesetze und ihrer Anwendungen mitzutheilen. Bei weitem das schwierigste und in den neuesten Zeiten am meisten untersuchte Problem ist die vortheilhafteste Heizung der Wohnungen und damit verwandter Räume, weswegen ich mich hierauf zunächst beschränken werde, indem hieraus die Anwendungen für anderweitige Zwecke sehr einfach von selbst folgen.

1. Bei allen Arten der Heizung kommt zuerst die Erzeugung der Wärme in Betrachtung. Es sind zwar verschiedentlich Vorschläge gemacht, die durch Compression und insbesondere durch Reibung erzeugte Wärme zum technischen Gebrauche zu benutzen, allein es ergiebt sich auf den ersten Blick, daſs der erzeugte Effect mit den anzuwendenden Mitteln in gar keinem Verhältnisse steht, und man wird sich daher ausschlieſslich auf die durch das Verbrennen der gangbaren Brennmaterialien erzeugte Wärme beschränken müssen. Die gangbarsten Arten der letzteren sind *Steinkohlen*, *Holz* und *Torf*, wozu an verschie-

---

p. 169. Vergl. Nachrichten von einigen zu Schöneiche angestellten Versuchen u. s. w. von J. E. Silberschlag. Berl. 1773.

denen Orten noch die aus der ausgelaugten, für die Lederbereitung benutzten, Eichenrinde geformten *Lohsteine* oder *Lohkäse*, und namentlich im nördlichen Deutschlande die mit vielen Wurzelfasern der verschiedenen Heide-Arten durchwachsene obere Erdrinde, welche in Stücken von 2 bis 3 Z. Dicke, abgehauen oder abgestochen wird, die sogenannten *Plagger* kommen. Da die Bestandtheile der letzteren und ihre hieraus folgende Heizkraft kaum im Mittel bestimmbar sind, so genügt es bloſs die vier ersteren Stoffe zu berücksichtigen, alle andere aber, welche noch wohl irgendwo angewandt werden mögen, mit Stillschweigen zu übergehen. Ueber die Wärmemengen, welche durch das Verbrennen der verschiedenen Holzarten, der Steinkohlen und des Torfes erzeugt werden, sind zahlreiche Versuche vorhanden, deren Resultate im Art. *Wärme* mitgetheilt werden sollen. Nimmt man ein genähertes Mittel aus den genauesten derselben, so erhält man 3000 ℔ Wasser, welche durch 1 ℔ gutes und gesundes, an der Luft wohl getrocknetes, gemeines Brennholz um 1° C. erwärmt werden[1]. Gemeines Eichen-Brennholz liefert dann etwa $\frac{1}{4}$ weniger, sehr harzreiches etwas mehr, deutsche Steinkohlen geben 1,3 mal, englische Newcastle-Kohlen 2 mal, trockne Holzkohlen 2 mal, die besten Torfarten gleichviel, die schlechteren und Lohsteine $\frac{1}{2}$ mal so viel, nasses Holz aber liefert nur $\frac{1}{3}$ dieser Menge.

Bei den Versuchen, wodurch diese Bestimmungen erhalten sind, wurde inzwischen das Brennmaterial gänzlich verzehrt und alle hierdurch erzeugte Wärme aufgefangen. Dieses ist bei gewöhnlichen Heizungen unmöglich, indem eine gewisse Quantität desselben unzersetzt bleibt und als Rauch durch die Schornsteine entweicht, dessen Wärme obendrein eben wie die Zerstreuung durch die Feuermauern einen bedeutenden Verlust herbeiführt. Nach der, auf praktische Erfahrung gestützten Angabe von Partington[2] genügt 1 ℔ Steinkohlen um 7 ℔ Wasser in Dampf zu verwandeln. Wird aber die zur Dampfbildung erforderliche Wärme = 640° C. gesetzt[3], und die anfängliche

---

1 Wagenmann nimmt an, daſs 2350 Pfd. Wasser durch 1 Pfd. Holz um 1° R. erwärmt werden, welches hiermit nahe übereinstimmt. S. über die Heizung mit erwärmter Luft. Berl. 1827. gr. 4.

2 S. Theil II. dieses Wörterb. S. 480.

3 S. Ebend. p. 296.

Wärme des Waſsers = 20° C. angenommen, ſo vermag 1 ℔ Steinkohlen 4340 ℔ Waſser um 1° C. zu erwärmen, und wenn die Heizkraft des Holzes = ½ der Steinkohlen iſt, ſo erhöhet 1 ℔ verbranntes Holz 2170 ℔ Waſser um 1° C. Wagenmann[1] nimmt nach dem Ergebniſse bei Anlagen im Groſsen an, daſs 1 ℔ Holz 3 ℔ Waſser in Dampf verwandelt, wonach auf gleiche Weiſe berechnet nur 1860 ℔ Waſser durch 1 ℔ Holz um 1° C. erwärmt werden. Im Mittel aus dieſen beiden Angaben ſcheint es alſo der Wahrheit am nächſten zu kommen, wenn man für 1 ℔ Holz 2000 ℔ Waſser als normale Beſtimmung annimmt. Es iſt ferner die ſpecifiſche Wärme der atmoſphäriſchen Luft gegen Waſser = 0,2669 und ihre Dichtigkeit = 0,00128, wonach alſo die Erwärmung des Waſsers gegen die der Luft bei gleichem Gewichte ſich wie 0,2669 zu 1 und bei gleichem Volumen = 0,2669 × 0,001299 : 1 verhalten würde. Hiernach iſt die nachfolgende Tabelle über die Verdampfung und Erwärmung um 1° C. von Waſser und Luft durch ein Pfund des gegebenen Brennmaterials berechnet.

| 1 ℔ Brennmat. | Verdampf. Waſser ℔ | Erwärm. um 1° C. Waſser ℔ | Cub. F. | Luft ℔ | Cub. F. |
|---|---|---|---|---|---|
| Beſte Steink. | 6,45 | 4000 | 57,14 | 14987 | 164810 |
| Schlechtere - | 4,20 | 2600 | 37,14 | 9700 | 107123 |
| Holz - - - | 3,23 | 2000 | 28,57 | 7493 | 82405 |
| Eichenholz - | 2,43 | 1500 | 21,43 | 5620 | 61811 |
| Torf - - - | 1,62 | 1000 | 14,28 | 3747 | 41202 |

Man wird ſich alſo von der Wahrheit nicht ſehr entfernen, wenn man annimmt, daſs durch 1 ℔ gutes, lufttrockenes, buchenes oder tannenes Holz, wenn es unter günſtigen Bedingungen und mit der erforderlichen Vermeidung jedes unnützen Verluſtes verbrannt wird, 80000 Par. Cub. F. Luft um 1° C. erwärmt werden. Soll dieſes Reſultat aber ſicher ſeyn, ſo wird ein hinlänglich ſtarker Luftzug erfordert, damit das Brennmaterial vollſtändig zerſetzt werde, und eine hinlängliche Circulation des noch heiſsen Rauches, damit er mindeſtens nicht über den Punct des ſiedenden Waſsers erhitzt in den Schornſtein entweiche. Um das Erſtere zu erreichen, hat man verſchiedene rauchverzehrende Oefen angegeben, wodurch die unzerſetzt entweichen-

1 A. a. O. S. 7.

Digitized by Google

den Antheile der Combustibilien verbrannt werden sollten. Die von Thilorier[1] vorgeschlagene Construction würde diesem Zwecke allerdings genügen; weil es aber allzu schwierig ist, solche Vorrichtungen gegen das Entweichen des Rauches, und dadurch entstehende Unannehmlichkeiten zu sichern, so übergehe ich sie mit Stillschweigen. Für die gehörige Abkühlung des Rauches im Allgemeinen kann auf verschiedene Weise leicht gesorgt werden, und scheint es mir daher überflüssig, Regeln hierfür anzugeben.

2. Sollen gegebene Körper durch die erzeugte Wärme erhitzt werden, so kann sie ihnen bei weitem in den wenigsten Fällen unmittelbar mitgetheilt werden, sondern muſs in der Regel durch eine Hülle dringen, um den gesuchten Effect zu erzeugen. Hierbei kommt dann vieles in Betracht.ng, wenn man die Zeit bestimmen will, in welcher die Wärme durch die Hülle dringt, und sich in den gegebenen Körpern gleichmäſsig oder ungleichmäſsig verbreitet, nämlich die Leichtigkeit, womit die Substanz der Hülle die mit ihr in Berührung kommende Wärme aufnimmt, durch ihre ungleich dicke Masse durchleitet und dann an die bestimmten Körper wieder abgiebt. Diese tief in die gesammten Gesetze der Wärmeleitung eingreifende Untersuchung kann indeſs hier nicht angestellt werden, indem es für die vorliegende Aufgabe zunächst meistens nur darauf ankommt, die gesammte erzeugte Wärme ohne merklichen Verlust zu benutzen, und nur in wenigen, nachher zu erwähnenden Fällen auch die Zeit, in welcher dieses geschieht, Berücksichtigung verdient.

3. Wenn die Quantität der erzeugten Wärme gegeben ist, so werden durch diese die gegebenen Körper einen ihrer specifischen Wärmecapacität umgekehrt proportionale Temperaturerhöhung erhalten. Ist demnach die spec. Wärme des Wassers nach Lavoisier und La-Place = 1; des Quecksilbers = 0,029, so wird die nämliche Wärmequelle, welche 1 ℔ Wasser um 1° der Temperatur erhöhet, fast 34,5 ℔ Quecksilber um 1° zu erhöhen im Stande seyn. Es kommt daher in jedem Falle sehr in Betrachtung, ob man eine gegebene Menge Wasser oder Weingeist, Luft, Blei u. s. w. zu erhitzen beabsichtigt, und muſs

1 S. Abbild. u. Beschreibung eines rauchverz. Ofens, herausgeg. von Eschenbach. Leipz. 1805. 4.

Digitized by Google

dabei auf die specifische Wärmecapacität jederzeit die gehörige Rücksicht genommen werden. Indem aber diese letztere bei den meisten Körpern so genau bekannt ist, als für die praktische Anwendung erfordert wird, so darf man nur die erforderlichen Bestimmungen aus den hierüber vorhandenen Tabellen entnehmen [1].

4. Die durch eine gegebene Wärmequelle den verschiedenen Körpern mit Rücksicht auf ihre respective Wärmecapacität ertheilte Temperaturerhöhung ist allezeit bloſs die Differenz der zugeführten und wieder abgeleiteten Wärme. Letzterer Verlust entsteht theils daraus, daſs namentlich die entweichenden Dämpfe und Gasarten die zu ihrer Bildung erforderliche, oft sehr bedeutende Wärmemenge mit sich fortführen, theils daraus, daſs keine Hülle für die Wärme undurchdringlich ist, und daher eine verschieden groſse Menge derselben durch diese entweicht, welche sich dann in den umgebenden Raum zerstreuet. Rücksichtlich des Ersteren ist es mit Ausnahme der eigentlichen Gasbereitung bei chemischen Processen selten der Fall, daſs durch Gasbildung ein Theil der zugeführten Wärme verloren wird, und lassen sich hierüber keine bestimmte Regeln angeben, dagegen aber ist es bekannt, wie groſs die Quantität der Wärme ist, welche die Dämpfe zu ihrer Bildung bedürfen. Heiſst daher die latente Wärme des Dampfes von derjenigen Flüssigkeit, welche erhitzt werden soll $= \vartheta$, die Temperatur, bis zu welcher dieselbe schon erwärmt ist $= t$, die Quantität des aus der Flüssigkeit gebildeten Dampfes, die ganze Menge derselben als Einheit genommen $= a$; so ist $(\vartheta - t)a$ die Verminderung der Temperatur durch Dampfbildung, oder diejenige Wärme in Thermometergraden ausgedrückt, um welche die gesammte Flüssigkeit ohne die Entweichung des Dampfes erwärmt worden wäre. Die latente Wärme des Wasserdampfes z. B. ist $= 640°$ C. von 0° an gerechnet. Ist demnach Wasser bis etwa 60° C. erwärmt, und kann der gebildete Dampf frei entweichen, so ist die hierzu verbrauchte Wärme $= (640 - 60)a = 580a$, woraus sich ergiebt, daſs a nur ein kleiner Bruch seyn kann, um dennoch einen merklichen Wärmeverlust zu erzeugen. Hierin liegt auch der Grund, warum das Verbrennen des nassen Holzes so wenig Hitze giebt, nämlich weil eine so groſse

---

[1] Vergl. *Wärme, specifische.*

Menge der letzteren durch Dampfbildung verloren wird, und das Bedecken der zu erwärmenden Flüssigkeiten ist um so viel nützlicher, je höher die Temperatur ist, auf welche sie gebracht werden sollen.

Der Wärmeverlust durch die umgebende Hülle wird auf eine dreifache Weise erzeugt, nämlich zuerst bei der Wärmequelle unmittelbar, wenn die Körper nicht alle erzeugte Wärme aufnehmen, zweitens bei der Fortleitung der erwärmten Stoffe bis zum Orte ihrer Benutzung und drittens an diesem letzteren selbst. Für alle drei gilt meistentheils die gemeinsame Regel, daſs man solche Hüllen anwendet, welche am wenigsten Wärme durchlassen, und diese sind hauptsächlich lockere, die Wärme schlecht leitende, Körper und mit blanker Oberfläche versehene. Zu diesem Ende umgiebt man die Feuerstätte mit mehr oder minder dicken Mänteln von gebrannten Steinen und einem Ueberzuge von Lehm, leitet heiſses Wasser, heiſse Luft und Wasserdampf in Röhren von verzinntem Eisenbleche, welche wenig Wärme ausstrahlen, schlieſst die Leitungsröhren in andere mit zwischenliegender Luftschicht ein, weil die trockene Luft die Wärme schlecht leitet u. s. w. In dieser Allgemeinheit aufgefaſst ist die Aufgabe leicht, und wird erst dann sehr schwierig, wenn man genaue Bestimmungen der Wärmemengen verlangt, welche eine gegebene Hülle bei einem bestimmten Temperaturunterschiede in einer gemessenen Zeit durchläſst. Die Aufgabe kommt in Betrachtung bei der Erzeugung des Dampfes für Dampfmaschinen und der Erhaltung desselben in den Leitröhren und Stiefeln der letzteren, bei Destilliranlagen, Heizungsapparaten für Bäder u. s. w., insbesondere aber bei der so allgemeinen Heizung der Wohnungen. Im Allgemeinen aber ist die Aufgabe schon oben unter Nr. 1. so weit beantwortet, als genäherte Werthe gefunden werden können, indem scharfe Bestimmungen wegen der zahllosen bedingenden Nebenumstände ganz unmöglich sind. Es ist dort nämlich nicht die gesammte Wärme angenommen, welche durch die Verbrennung der gebräuchlichen Brennstoffe erzeugt wird, sondern nur diejenige, welche aus Beobachtungen im Groſsen gefunden wurde, wobei also der Verlust durch die Wände der Feuerungsräume und der Gefäſse schon mit in Rechnung genommen ist. Die Bestimmung derjenigen Wärme, welche bei der Fortleitung der erwärmten Medien durch die Canäle verloren wird, kann in genäherten Wer-

Digitized by Google

then aus den Angaben entnommen werden, welche sich bei der Untersuchung der Dampfheizung im Speciellen finden, und so bliebe dann hauptsächlich noch die Wärmezerstreuung durch die Umgebungen der Wohnzimmer und Gemächer übrig.

5. Die Bestimmung des Wärmeverlustes, welchen geheizte Räume durch die sie einschlieſsenden Umgebungen, als Fenster, Wände, Thüren u. s. w. erleiden, ist sehr schwierig, und kaum überall auch nur in genäherten Werthen möglich, worin dann der Grund liegt, daſs manche Zimmer so leicht und andere so schwer erheizt werden, ohne daſs genaue Kenner der Gesetze, denen die Wärme folgt, die Ursachen hiervon allezeit sicher anzugeben vermögen. Theils sind nämlich die Gesetze der Wärmedurchleitung der verschiedenen Körper noch nicht mit hinlänglicher Genauigkeit bestimmt, um hieraus die Zeiten zu berechnen, in denen die Wärme bei einer bekannten Temperatur im Innern der Zimmer und auſserhalb derselben die Umgebungen der Zimmer zu durchdringen vermag, theils bieten auch die letzteren so viele Verschiedenheiten dar, daſs die zahlreichsten Versuche kaum hinreichen würden, sie sämtlich zu umfassen. Je nachdem nämlich die Fenster, Wände und Thüren mehr oder weniger das Durchdringen der kalten und warmen Luft durch feine Ritzen gestatten, entsteht ein bedeutender Unterschied aus der Richtung der Luftströmung, welche jenes Durchdringen leicht auf das Doppelte und noch mehr steigern kann. Für genaue Bestimmungen würde dann sogar das gröſsere oder geringere Leitungsvermögen des Glases in Betrachtung kommen, allein noch ungleich mehr ist dieses der Fall bei den Thüren, je nachdem das Holz derselben dichter und trockner ist, und insbesondere bei den massiven Wänden, deren Leitungsfähigkeit nicht bloſs von ihrer eigenthümlichen Beschaffenheit, sondern auch von ihrem Zustande der Trockenheit abhängt, welcher letztere wiederum durch den Einfluſs der Witterung bedingt wird. Die nachfolgenden Bestimmungen können daher nur als ein Versuch angesehen werden, hierüber zu einigen genäherten Werthen zu gelangen.

Thomas Tredgold[1] füllte einen gläsernen Cylinder mit warmem Wasser, lieſs ihn in einem Zimmer erkalten, maſs die

---

1 Grundsätze der Damfpheizung und der damit verbundenen Lüftung aller Arten von Gebäuden. Uebers. von Kühn. Leipz. 1826. 8. S. 45.

hierzu erforderliche Zeit und bestimmte hiernach diejenige Abkühlung, welche durch eine gegebene Oberfläche des Glases in einer Minute bewirkt wird. Allein gegen diese Versuche, welche sowohl er selbst als auch Wagenmann[1] bei den Berechnungen zum Grunde legt, lassen sich zwei sehr bedeutende Einwendungen aufstellen. Zuerst nämlich war der Cylinder mit Wasser gefüllt, in welchem die Wärme nicht leicht vom Mittelpuncte nach den Wandungen des Cylinders gelangen konnte, insofern dasselbe ein schlechter Wärmeleiter ist, und sich beim ruhigen Stehen in ungleich warme horizontale Schichten trennt, auf der andern Seite aber durch unmittelbare Berührung der Glasfläche andern Gesetzen der Durchleitung folgt, als die in den Zimmern eingeschlossene, den Glaswänden anliegende Luft; zweitens aber lieſs er das Wasser bei einer Temperaturdifferenz von 55°,5 R. im Innern und auſserhalb des Cylinders nur um 1° R. erkalten, nachher aber bei einer mittleren Temperaturdifferenz von 53°,5 um 3° R., fand aus jenem 0°,338, aus diesem 0°,337 R. Erkaltung in 1 Minute, setzte beide Resultate einander nahe gleich, und nahm letztere in Rechnung. Allein die Abkühlung um 1° R. giebt als zu klein schon eine zu groſse Fehlergrenze, und dann folgt aus Theorie und Erfahrung übereinstimmend, daſs die Durchleitung der Wärme durch jede Hülle der Temperaturdifferenz im Innern und auſserhalb proportional seyn muſs. Ohne diesen letzteren Satz durch die Erfahrung direct zu prüfen, stellt er dann den allgemeinen Satz auf, daſs ein Quadratfuſs Glasfläche von gewöhnlicher Fensterscheibendicke 1,5 Cub. F. Luft um den Unterschied der inneren und äuſseren Temperatur abkühlt. Bei der Bestimmung dieser Gröſse wird zugleich angenommen, daſs die Glashülle um $\frac{1}{6}$ kälter war, als das eingeschlossene Wasser, welches für die Bedingungen des Versuchs wohl ganz richtig seyn mag, Wagenmann giebt dagegen für den Fall, wenn das Glas auf beiden Seiten mit ungleich erwärmter Luft in Berührung ist, diesem die mittlere Temperatur zwischen der inneren und äuſseren, und nimmt demnach an, daſs 0,7 Cub. F. Luft durch 1 Quadratfuſs Glasfläche, beides in rheinl. Maſs, in 1 Minute um die Differenz der äuſseren und inneren Temperatur abgekühlt werde.

Es schien mir nicht überflüssig zu seyn, diese Hauptbestim-

1 A. a. O. S. 8.

mung für die gesammten nachfolgenden Berechnungen durch eigene Versuche zu prüfen. Zu diesem Ende setzte ich eine Campane von der Dicke des gemeinen Fensterglases mit etwas Pomade auf eine Spiegelglasscheibe, hing ein Thermometer in die Mitte derselben, erwärmte das Ganze in einer Trockenstube bis 28° R., setzte dann den Apparat zwischen offene Fenster eines Zimmers, um einen freien Luftzug zu haben, welcher auch die untere Scheibe berührte, und beobachtete die Grade der Erkaltung von 5 zu 5 Minuten bei einer constant bleibenden äuſseren Temperatur = 7° R. Hieraus erhielt ich folgende Werthe [1].

| Zeiten | Temperaturen | $\Delta$t nach Beob. | $\Delta\Delta$t | $\Delta$t nach Rechnung | $\Delta\Delta$t |
|---|---|---|---|---|---|
| 7h 30′ | 28,0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 35 | 20,5 | 7,5 | 0,0 | 7,5 | 0,0 |
| 40′ | 15,0 | 4,5 | 3,0 | 4,7 | 2,7 |
| 45 | 12,0 | 3,0 | 1,5 | 2,9 | 1,9 |
| 50 | 10,2 | 1,8 | 1,2 | 1,8 | 1,1 |
| 55 | 9,2 | 1,0 | 0,8 | 1,09 | 0,9 |
| 8 00 | 9,0 | 0,8 | 0,2 | 0,8 | 0,29 |

Die sämtlichen Columnen dieser Tabelle sind an sich klar, auſser die fünfte. Diese dient zur Beantwortung der Frage, ob die Abkühlungen den Unterschieden der Temperatur direct proportional sind. Ist dieses der Fall, und heiſsen die Unterschiede der inneren und äuſseren Temperatur $\alpha$ und $\alpha'$, die Abkühlungen der Luft im Innern $\Delta$t und $\Delta$t′, so ist

$$\alpha : \alpha' = \Delta t : \Delta t' \text{ also } 21 : 13{,}5 = 7{,}5 : \frac{13.5 \times 7{,}5}{21} = 4{,}77\ldots$$

wonach die 5te Columne berechnet ist. Die leicht zu übersehende Uebereinstimmung der Werthe in der dritten und fünften Columne zeigt, daſs der von Tredgold aufgestellte Satz durch die Erfahrung bestätigt wird [2]. Im Mittel aus allen Resultaten können wir annehmen, daſs die eingeschlossene Luft um 2°,8 R. im Verhältniſs des Unterschiedes der inneren und äuſseren Temperatur während 5 Minuten, also um 0°,56 R. in 1 Minute ab-

1 Die äuſsere Temperatur wurde an einem unweit des Apparats aufgehangenen, sehr empfindlichen Thermometer beobachtet, und veränderte sich nicht um 0°,2 R.

2 Ein zweiter Versuch, wobei die umgebende Luft in einem Zimmer mehr ruhig war, gab fast ganz gleiche Resultate, indeſs lasse ich ihn weg, weil er an Genauigkeit dem mitgetheilten nachsteht.

Digitized by Google

gekühlt wurde. Es betrug aber in so weit wie möglich genäherten Werthen die abkühlende Oberfläche 248 Quadratzolle, der Inhalt 394 Cub. Zolle Par. Maſs, wonach 1 Par. Quadratfuſs Glasfläche gerade 0,25 Cub. F. Luft um 1° C. in 1 Minute von der Differenz der inneren Luft gegen die äuſsere abkühlt, überall den Zustand der Trockenheit vorausgesetzt.

Das hier gefundene Resultat scheint mir der Natur der Sache weit angemessener zu seyn, als das durch Tredgold erhaltene, und es muſste auch geringer ausfallen, weil das Wasser seine Wärme ungleich schneller dem Glase mittheilt, als die trockne Luft. Uebrigens ist die erhaltene Gröſse das Minimum, indem man die Luft in der Regel nicht so trocken annehmen darf, als die bei den Versuchen angewandte war, und wenn dieselbe feucht ist, oder sich ein wässeriger Niederschlag an den Fensterscheiben anlegt, so kann sie wohl auf das Doppelte steigen, was dann von der Annahme Wagenmann's kaum verschieden seyn würde, insbesondere wenn man erwägt, daſs bei dem von mir gebrauchten Maſse die Fläche im quadratischen, die Luftmasse aber im cubischen Verhältnisse des rheinländischen zum Pariser Fuſse gröſser ist. Es scheint mir daher am richtigsten zu seyn, wenn man im Mittel auf 1 Quadrat F. Fensterfläche 0,3 oder $\frac{1}{3}$ Cubikfuſs Abkühlung in 1 Minute rechnet.

6. Hiernach kann also der Wärmeverlust durch die Glasflächen der Fenster mit hinlänglicher Genauigkeit gefunden werden, zur Bestimmung desjenigen aber, welcher durch die Thüren, Wände, Decken und Fuſsböden stattfindet, sind mir durchaus keine genügende Erfahrungen bekannt. Tredgold sagt in seinem mehrerwähnten, reichhaltigen Werke hierüber nichts, Wagenmann dagegen setzt die Leitungsfähigkeit der zu den letzteren genommenen Substanzen der des Glases gleich, und den Cubikwurzeln aus den Dicken derselben umgekehrt proportional; allein ich sehe nicht, auf welches erwiesene Naturgesetz sich diese Annahme stützt. Wenn wir uns an die Resultate der bisherigen Beobachtungen und Versuche halten, so führen diese zu den auffallendsten Widersprüchen. Alle absichtlich deswegen angestellte Versuche geben nämlich das Resultat, daſs die lockeren Körper, z. B. Holz, bessere Wärmeleiter sind als die festen z. B. Glas, Steine und inbesondere die Metalle. So fand na-

Digitized by Google

mentlich Böckmann[1], welcher die ausführlichste Arbeit hierüber geliefert hat, die Leitungsfähigkeit des Eisens = 0,332; des Sandsteines = 0,749; des Glases = 0,783; des Weiſstannenholzes = 1,282; der Buchenholzasche = 1,295. Hiermit stehen aber die gemeinsten Erfahrungen, namentlich daſs glühende Kohlen in der Asche nicht erlöschen und die Holztheile in den Wänden der Zimmer weiſs bleiben, während die aus Stein, Lehm und Kalk bestehenden, durch bessere Wärmeleitung und den hierdurch veranlaſsten Niederschlag der dampfartig fortgerissenen Substanzen grau gefärbt werden, daſs massive Wände bei plötzlicher Veränderung der Temperatur eine völlig nasse Oberfläche erhalten, daſs bei heftiger Kälte die naſsgemachten Finger am Eisen sogleich festfrieren, während Hölzer von gleicher Temperatur ohne eine solche Wirkung berührt werden können, u. dgl. m. im grellsten Widerspruche. Dennoch aber ist gegen Böckmann's Versuche nichts einzuwenden. Er senkte nämlich feine Thermometer in Kugeln von verschiedenen Substanzen, erwärmte diese bis zu einer gleichen Temperatur, lieſs sie unter gleichen Bedingungen erkalten, und setzte dann ihr Wärmeleitungsvermögen der hierzu erforderlichen Zeit umgekehrt proportional. Eins von seinen auf diese Weise erhaltenen Resultaten, wonach das Wärmeleitungsvermögen des Eisens = 0,332 und des Glases = 0,783, also mehr als doppelt so groſs gefunden wurde, stimmt auſserdem mit einer merkwürdigen Erfahrung Rumford's[2], daſs Wasser in gläsernen Flaschen von 6facher Dicke der Wandungen früher erkaltete, als in gleich groſsen von Weiſsblech, sehr gut überein, und beide Versuche scheinen das für den vorliegenden Zweck erforderliche Gesetz anzugeben, indem es bei unsern Untersuchungen gleichfalls auf die Bestimmung der Zeit ankommt, in welcher die Wärme von Innen aus eine gegebene Hülle durchdringt.

Da es hier der Ort nicht ist, die bekannten Versuche über das Wärmeleitungsvermögen der verschiedenen Körper gründlich zu prüfen, so bemerke ich hierüber nur im Allgemeinen Folgendes. Diejenigen Körper, welche die Wärme leicht ab-

1 Versuche über die Wärmeleitung verschiedener Körper. Carlsruhe 1812. 8.

2 Mém. de l'Inst. VI. 102.

Digitized by Google

geben und somit schnell erkalten, zeigen hierdurch eine geringe Affinität zu derselben, und nehmen sie daher auch weniger gern an, wonach sie also schlechte Wärmeleiter sind. Hierin liegt der Grund, warum Böckmann seine gefundenen Resultate der Erfahrung dadurch mehr anzupassen sucht, daſs er das Wärmeleitungsvermögen in einer zweiten mitgetheilten Tabelle der Zeit des Erkaltens direct proportional setzte. Allein diese Bestimmung kann uns hier nicht als Norm dienen, da es doch einmal ausgemacht ist, daſs die untersuchten Körper in der angegebenen Zeit erkalten, und im umgekehrten Verhältnisse der letzteren als Wärmeleiter zu betrachten sind. Genau genommen ist aber dieser Schluſs nicht genugsam begründet. Böckmann wandte nämlich Kugeln von ganz gleichem Durchmesser an, deren eigentliche Masse daher ihrem spec. Gewichte direct proportional war. Sie gaben ihre erhaltene gleiche Wärme an die Umgebung ab, deren Menge aber ihrer specifischen Wärmecapacität gleichfalls direct proportional zu setzen ist. Diesemnach müssen also die erhaltenen Werthe mit dem Producte der specifischen Gewichte in die respectiven Wärmecapacitäten multiplicirt werden, um die corrigirten Bestimmungen für das Wärmeableitungsvermögen der Körper zu erhalten. Die specifischen Wärmecapacitäten der verschiedenen Körper sind zwar noch nicht bei allen genau bestimmt; wenn wir aber die muthmaſslich richtigen Werthe in Rechnung nehmen, so erhalten wir für die hier zunächst zu berücksichtigenden Körper folgende durch Böckmann gefundene uncorrigirte und die auf die angegebene Weise corrigirten Bestimmungen des Wärmeleitungsvermögens.

| Körper. | Wärmeleitung uncorr. | Wärmeleitung corrig. | Körper. | Wärmeleitung uncorr. | Wärmeleitung corrig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Weiſstannenh. | 1,282 | 0,4527 | Sandstein | 0,749 | 0,4269 |
| Eichenh. - - | 1,181 | 0,7861 | Kalkstein | 0,666 | 0,4291 |
| Mörtel - - - | 0,944 | 0,4316 | Backstein | 0,988 | 0,4387 |
| Glas - - - - | 0,783 | 0,3960 | Eisen - | 0,332 | 0,3361 |

Die hiernach corrigirten Gröſsen, mit Ausnahme der für Eichenholz erhaltenen, sind einander so ähnlich, daſs man bei der Unsicherheit der benutzten Elemente geneigt werden könnte, das Wärmeleitungsvermögen aller Körper als gleich anzunehmen. Hierdurch wird aber für den vorliegenden Zweck nichts gewonnen, indem die bekannte Erfahrung über das ungleiche Durchleitungsvermögen der Wärme, welches wir bei den

Digitized by Google

Wänden der Wohnzimmer wahrnehmen, damit ohne weitläufige Rechnungen nicht in Einklang gebracht werden kann.

Sehr interessante und anderweitig höchst wichtige Versuche, von denen hier ein indirecter Gebrauch gemacht werden kann, sind von Biot[1] und späterhin von Despretz[2] angestellt. Beide erhitzten Stangen verschiedener Körper an einem Ende bis zu einer bekannten Temperatur, erhielten sie am andern gleichfalls auf einem bestimmten Grade der Wärme und maſsen durch Thermometer, welche in gleichen Abständen in die Stangen gesenkt waren, die Unterschiede der Temperaturen. Hieraus fanden beide im Allgemeinen übereinstimmend, daſs für eine arithmetische Reihe der Abstände dieser Thermometer die Wärmegrade, welche sie zeigten, eine geometrische Reihe bildeten, wonach also die Curve der Wärmefortleitung eine logarithmische ist, ein durch theoretische Untersuchungen von Fourier[3] bestätigtes Gesetz. Despretz, an dessen Versuche ich mich hier zunächst halten werde, findet dieses Gesetz für alle gute Leiter bestätigt, bei den schlechten Wärmeleitern zeigte sich aber eine Abweichung, welche indeſs hier unberücksichtigt bleiben kann, da sie für den vorliegenden Zweck der praktischen Anwendung nur gröſsere Sicherheit des gesuchten Erfolges gewährt. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate stimmen dann ungleich besser mit den für unseren Zweck berücksichtigten Erfahrungen überein, indem die Metalle die besten, die Erden dagegen sehr schlechte Leiter der Wärme sind, denn namentlich ist das Wärmeleitungsvermögen des Eisens = 374,3; des Porzellans dagegen = 12,2; und der gebrannten Steine = 11,4. Indem sonach für den vorliegenden Zweck mit genügender Sicherheit die Leichtigkeit, womit die Körper die ihnen dargebotene Wärme annehmen, derjenigen, womit sie dieselbe abgeben, umgekehrt proportional gesetzt werden kann und diese sich daher wechselseitig aufheben, so kann uns hier das Fortleitungsvermögen der Wärme bei den verschiedenen Körpern als Norm der gesuchten Bestimmungen dienen. Leider aber findet sich unter den durch Despretz untersuchten Körpern das Glas nicht, welches für un-

---

1 Traité IV. 666.

2 Ann. de Chim. et Phys. XIX. 97. XXXVI. 422. Traité élém. de Phys. 1825. 8. p. 200. Vergl. *Wärme, Fortleitung derselben.*

3 Théorie analytique de la Chaleur. A Paris 1822. 4. p. 60.

Digitized by Google

sere vorliegenden Untersuchungen am wichtigsten ist. Nach Wahrscheinlichkeit kann dasselbe zwischen Marmor und Porzellan gesetzt werden, und da die Wärmeleitung für ersteren = 23,6 für letzteres = 12,2 gefunden ist, so würde die für Glas = 16, oder mit einer gröſseren Annäherung zu der des Porzellans = 14,5 bis 15 anzunehmen seyn. Endlich war in den Versuchen von Biot das erhitzte Ende der Stangen mit siedendem Wasser in unmittelbarer Berührung, und bei denen von Despretz umspielte die Flamme denselben, welches allerdings auf die Resultate nicht ohne allen Einfluſs ist.

Alle bisherigen Versuche enthalten diesemnach nicht genau diejenigen Bedingungen, welche bei der Entscheidung über das vorliegende Problem zu berücksichtigen sind, und weil es vielleicht unmöglich ist, solche Versuche anzustellen, in denen dieselben insgesammt enthalten sind, mir hierzu aber in dem Augenblicke sowohl die erforderliche Zeit als auch die nöthigen Mittel fehlten, so bemühete ich mich zu genäherten Bestimmungen durch folgenden Versuch zu gelangen. Da bei der Zimmerheizung die eingeschlossene Luft erwärmt ist, und ihre Wärme durch die Wandungen an die äuſsere umgebende Luft abgiebt, die Ableitung durch Glas aber aus dem oben beschriebenen Versuche bekannt ist, so verschaffte ich mir nach einem cylindrischen gläsernen Gefäſse von beiläufig 2 Z. Weite und 4 Z. Höhe, also von etwa 12 Cub. Z. Inhalt ein ähnliches von Buchenholz und eins von gebranntem Thon, letzteres als unvollkommenen Repräsentanten der Wände von gebrannten Steinen, verschloſs die Oeffnungen durch einen Kork, senkte in jedes ein möglichst gleiches, bis in die Mitte herabreichendes, sehr feines Thermometer, lieſs sie bis 8° R. erkalten, brachte dann alle drei an Fäden über einen Stab hängend in eine Trokkenstube, wo ein in einiger Entfernung vom Ofen hängendes Thermometer 45° R. zeigte und beobachtete die Zeiten, in denen die Thermometer von 10 zu 10 Graden stiegen. Diese waren in Minuten folgende

| | Glas | Holz | Thon |
|---|---|---|---|
| 8° bis 18° | 3,25 | 3,75 | 3,5 |
| 18 — 28 | 3,00 | 5,50 | 4,0 |
| 28 — 38 | 3,25 | 9,00 | 6,5 |

Bei den Resultaten dieser sehr im Kleinen angestellten und schon aus diesem Grunde mangelhaften Versuche ist es auffal-

Digitized by Google

lend, daſs beim Glase das Durchleitungsvermögen für alle Temperaturunterschiede gleich, beim Thone aber und noch ungleich mehr beim Holze den Zunahmen der Wärme umgekehrt proportional ist. Dieses Resultat, welches durchaus auf keinem Beobachtungsfehler beruhet, wird durch die Erfahrung bestätigt, indem die genannten Körper in einer höheren Temperatur leicht um einige Grade wärmer werden, dann aber selbst mit glühenden Körpern in Berührung nur langsam einen hohen Grad der Hitze erhalten, weswegen auch die Kachelöfen von Auſsen erst spät eine bedeutende Hitze zeigen, obgleich sie im Innern mit glühender Luft in Berührung sind oder selbst glühen. Hieraus erklärt sich ferner, warum die Wände und Meublen, wenn nach anhaltender Kälte schnell eine höhere Temperatur eintritt, sobald von Auſsen naſs werden, nachher aber, wenn sie mehr erwärmt sind, und die Temperatur noch bedeutend steigt, keineswegs einen gleichen Grad der Feuchtigkeit zeigen, obgleich die Menge des Wasserdampfes in der Atmosphäre mit der Temperatur zunimmt.

Nehmen wir einstweilen das Resultat dieser Versuche als richtig an, und setzen die Leitungsfähigkeit den gefundenen Zeiten umgekehrt proportional, so giebt dieses folgende Werthe, die des Glases als Einheit angenommen

Glas = 1; Holz = 0,5206; Thon = 0,6786.

Die Werthe gelten indeſs für den Fall, wenn der Unterschied der Temperatur 30° R. beträgt, und da das Leitungsvermögen des Holzes in höheren Temperaturen so bedeutend abnimmt, so trage ich Bedenken, sie den nachfolgenden Berechnungen zum Grunde zu legen. Wenn dagegen die aus den zwei ersten Reihen erhaltenen, einem Temperaturunterschiede = 20° R. zugehörigen Bestimmungen benutzt werden, so erhält man folgende Werthe:

Glas = 1; Holz = 0,6756; Thon = 0,8334;

welche ich um so lieber annehme, als sie mit dem Resultate eines zur Controle angestellten Versuches sehr nahe übereinstimmen. Ich lieſs nämlich die Temperatur der Gefäſse durch weitere Entfernung vom Ofen langsam auf 35° R. herabgehen, stellte sie dann in ein luftiges Zimmer von 10° R., lieſs sie bis 15° R. erkalten, notirte die hierzu erforderliche Zeit und erhielt hieraus ein mit dem angegebenen sehr nahe übereinstimmendes Resultat.

Digitized by Google

Diese angenommene Bestimmung steht auſserdem sehr im Einklange mit derjenigen, welche so eben aus den Versuchen von Despretz abgeleitet ist. Wird nämlich die Wärmeleitung des Glases hiernach aus der des Thones berechnet, so erhält man 14,6, mit der einen dort angenommenen Gröſse völlig übereinstimmend und von der andern so wenig abweichend, als bei so schwankenden Elementen nur immer zu erwarten ist.

Endlich fehlt indeſs zur Berechnung der erforderlichen Gröſsen noch eine sehr wesentliche Bestimmung, nämlich die der Leitungsfähigkeit gewöhnlicher Mauersteine. Ist es gleich unmöglich, diese mit völliger Sicherheit zu erhalten, so glaube ich dennoch, daſs man zu einem sehr genäherten Werthe auf folgende Weise gelangen kann. Despretz fand das Wärmeleitungsvermögen des gebrannten Thones $= 11{,}4$, des Marmors $= 23{,}6$. Würde nun das Wärmeleitungsvermögen der Bruchsteine der des Marmors genau gleichgesetzt, so wäre sie $= \frac{0{,}8336 \times 23{,}6}{11{,}4} = 1{,}72$; wenn man aber berücksichtigt, daſs die gemeinen Mauersteine meistens feuchter als Marmor sind, und diesemnach ihre Leitungsfähigkeit um 0,27 vermehrt, so kann diese Bestimmung sich nicht weit von der Wahrheit entfernen. In einigen Gegenden bedient man sich der marmorartigen Kalksteine, zuweilen auch eines Kalktuffes zum Mauern, dessen Leitungsfähigkeit, eben wie die des Trachyts ohne Zweifel geringer ist, als des Marmors, und daher füglich auf 1,5 herabgesetzt werden kann, für gemeine, sandsteinartige Steine setze ich dieselbe aber $= 2{,}00$.

Ehe von den hier erhaltenen, wahrscheinlich wenigstens sehr genäherten, Bestimmungen eine Anwendung auf die verschiedenen Heizungsarten gemacht werden kann, ist noch die wichtige Frage zu entscheiden, in welchem Verhältniſs die vermehrte Dicke der Körper zu ihrem Leitungsvermögen steht. Böckmann[1] stellte Versuche mit Kugeln von 1 und 2 Z. Durchmesser an, wobei also die Wärme die einfache und dann die doppelte Dicke der Hülle durchdringen muſste, und fand hierfür das Verhältniſs der Zeiten bei Wismuth $= 1 : 2{,}35$; bei Zink $= 1 : 2{,}08$; bei Hagebuchenholz $= 1 : 2{,}58$; wonach also im Mittel das Ableitungsvermögen der Körper in einem

1 A. a. O. S. 133.

gröſseren Verhältnisse als dem einfachen der Dicke abnimmt. Dieses folgt auch aus der Natur der Sache; denn da bei dem Durchgange der Wärme durch jede gegebene Dicke eines leitenden Körpers die nämlichen Hindernisse zu überwinden sind, so muſs hieraus die Zeit des Durchganges im umgekehrten Verhältnisse der Dicken stehen, und dieses Verhältniſs muſs noch dadurch wachsen, daſs die Wärme bei abnehmendem Unterschiede der Spannung die gleich groſsen Räume weniger schnell durchläuft[1]. Die hiernach festzusetzende Regel weicht zwar sehr von derjenigen ab, welche Wagenmann[2] hierüber aufgestellt hat, wonach die Durchleitung den Cubikwurzeln aus den Dikken der Körper umgekehrt proportional seyn soll; allein gegen diese letztere, weder durch Theorie noch Erfahrung begründete, Regel streitet das Resultat der von Böckmann angestellten Versuche, eben wie die durch Biot[3] aufgestellte durch Despretz bestätigte und durch Fourier[4] in einem sehr zusammengesetzten Calcüle dargelegte Theorie, wonach das Gesetz der Fortpflanzung der Wärme in den verschiedenen Körpern durch eine logarithmische Curve dargestellt wird. Endlich stimmt auch die gemeine Erfahrung mit jenem Gesetze überein, indem zwei Fuſs und darüber dicke Hüllen der Feuerungs-Räume bei Dampfmaschinen u. s. w. an der einen Seite glühend, an der andern aber nur unmerklich warm zu seyn pflegen, und daſs man in kalten Wintern die Fenster mit dickem Eise überzogen findet, während solches an den Thüren und Wänden und Fensterrahmen nicht zum Vorschein kommt. Man wird sich daher von der Wahrheit nicht sehr entfernen, wenn man in der praktischen Anwendung zur Bequemlichkeit der Rechnung das Gesetz annimmt, daſs die Wärmeleitung durch die verschiedenen Wände der erwärmten Räume den Dicken derselben umgekehrt proportional ist. Dabei kommt jedoch sehr in Betrach-

---

1 Diese sehr elementare Darstellung des schwierigen Problems mag für den vorliegenden praktischen Zweck genügen. Sehr gelehrt ist dasselbe behandelt durch Fourier a. a. O.

2 A. a. O. S. 8.

3 Traité. IV. 666.

4 Als Resultat seiner Untersuchungen stellt Fourier a. a. O. p. 73. den Satz auf: Si l'on doublait l'épaisseur de l'enceinte, on aurait le même résultat, que si l'on employoit une substance, dont la conducibilité propre serait deux fois plus grande.

tung, daſs die eine Seite dieser Wandungen zuvor bis zu der geforderten Temperatur erhitzt seyn muſs, indem sonst die dikken Wandungen wegen der Gröſse ihrer Massen einer groſsen Menge der sie berührenden Luft ihre Wärme entziehen, und durch die niedergeschlagenen Dämpfe eine nasse Oberfläche erhalten.

7. Ein sehr bedeutender Wärmeverlust geheizter Räume entsteht durch die Risse, welche sich in groſser Menge in den Thüren und Fenstern, zum Theil auch selbst in den Decken und Wänden, namentlich zwischen den Fensterbänken finden, und ist um so bedeutender, je geringere Sorgfalt in manchen Gegenden auf die Dichtigkeit der Zimmer verwandt wird. Daſs die Quantität der hierdurch entweichenden warmen, und der eindringenden kalten Luft sehr bedeutend sey, dieses ist schon aus der groſsen Menge Luft ersichtlich, welche in einen gut ziehenden Windofen zu strömen pflegt, und bei verschlossenem Zimmer doch nothwendig durch jene Oeffnungen eindringen muſs. Um sie genau zu berechnen ist erforderlich, daſs die Weite der Risse, die Höhe derselben über dem Fuſsboden und der Unterschied der inneren und äuſseren Temperatur bekannt sind, indem hiervon die Geschwindigkeit der Luftströmung abhängt, wodurch dann wiederum die Menge der in einer gegebenen Zeit eindringenden kalten und ausströmenden warmen Luft bedingt wird. Dabei ist dann ferner zu berücksichtigen, daſs mindestens in den Wohnzimmern die Thüren mehr oder minder oft, die Fenster meistens einigemal täglich geöffnet zu werden pflegen, wodurch jederzeit mehrere Cubikfuſs warmer Luft entweichen. Weil es indeſs zu unbestimmt ist, wie oft das eine und das andere zu geschehen pflegt, so begnüge ich mich ohne genauere Berechnung mit der allgemeinen Bemerkung, daſs bei der Zimmerheizung auf den bedeutenden, hieraus erwachsenden, Wärmeverlust Rücksicht zu nehmen ist.

Die Weite der Fugenöffnungen und sonstiger Risse bei Thüren, Fenstern, in den Decken und Wänden nebst ihrer Höhe über dem Fuſsboden ist schwer zu bestimmen. Nach Tredgold [1] soll die Weite der Fugen einer gut schlieſsenden Thür $\frac{1}{100}$ F. betragen, erreicht aber meistens das Doppelte dieser Gröſse, und eben dieses ist der Fall bei jedem Fenster. Die

1 A. a. O. S. 44.

Digitized by Google

Höhe einer Thür setzt er im Mittel zu 7 engl. F., der leichteren Rechnung wegen nimmt er aber 8 F. an, den Unterschied der Temperatur aber = 26°,7 R. und berechnet dann nach einer ähnlichen Formel als diejenige ist, welche unten Nr. 31 mitgetheilt werden wird, die Menge der in jeder Minute durch eine Thür oder ein Fenster entweichenden warmen Luft zu 11,25 Cub. F. Man darf indeſs diese Bestimmung nur als eine genäherte betrachten, denn bei den Thüren befinden sich die Risse nicht an ihrer obersten Höhe, und bei den Fenstern ist die Höhe bedeutend gröſser. Dagegen muſs aber berücksichtigt werden, daſs die Geschwindigkeit, womit die warme Luft aus den oberen Oeffnungen der Thüren und Fenster entweicht, eine gleiche Geschwindigkeit des Einströmens der kalten in die unteren herbeiführt, so daſs also hiernach das gefundene Resultat füglich mit der Erfahrung bestehen kann. Nach Wagenmann[1] dagegen beträgt bei einer mittleren Temperaturdifferenz von 18° R. die Geschwindigkeit der durch die Risse in den Fenstern ausströmenden Luft 2,5 F. in einer Secunde, und wenn dann die Weite dieser Oeffnungen in jedem Fenster 4 Quadratzolle beträgt, so ist der Wärmeverlust in 1 Minute in genähertem Werthe auf 4 Cub. F. rheinl. zu setzen. Für eine Thür nimmt derselbe 6 Quadratzolle der gesammten Oeffnungen an, die Geschwindigkeit der Strömung dagegen nur $\frac{1}{3}$ so groſs, weil die Thüren in der Regel nicht ins Freie gehen, wonach der Wärmeverlust also geringer seyn muſs, und nur $\frac{6}{3} = 2$ Cub. F. in 1 Minute betragen soll. Die letztere Annahme läſst sich indeſs nicht wohl rechtfertigen; denn da die Geschwindigkeit der Strömungen sich verhält wie die Quadratwurzeln aus den Höhen und wie der Unterschied der Temperatur, so giebt dieses, die Thür zu 8 F. das Fenster zu 12 F. Höhe, die äuſsere Temperaturdifferenz zu 18°, die in den Gängen zu 12° angenommen ein Verhältniſs $= \frac{282}{346} \times \frac{12}{18} = \frac{3384}{6228}$, oder nahe $= \frac{1}{2}$.

Nehme ich die Höhe des Fensters zu 10 F. vom Fuſsboden an gerechnet, und einen Temperaturunterschied von 25° C., so ist die Geschwindigkeit der Luftströmung = 2,3 F. in der Secunde, und 1 Quadratzoll Oeffnung liefert mit Wagenmann übereinstimmend sehr nahe einen Par. Cubikfuſs warme Luft, welche in 1 Minute um die Differenz der inneren und äuſseren

1 A. a. O. S. 9.

Temperatur abgekühlt wird. Bei den Thüren, welche ohnehin gewöhnlich einigemale des Tags geöffnet werden, zugleich aber die Nebenzimmer und Gänge so viel wärmer erhalten, je häufiger dieses geschieht, nehme ich 8 F. Höhe und 20° C. Temperaturdifferenz an, in welchem Falle 0,6 Cub. F. Luft in 1 Minute durch 1 Quadratzoll Oeffnung verloren werden. Ferner scheint mir Wagenmann's Bestimmung der Gröſse der Oeffnungen bei Fenstern und Thüren ungleich richtiger zu seyn, als die unbestimmtere von Tredgold, und so will ich dann gleichfalls für Kittfenster 2 Z. und für Bleifenster 4 Z., für jede Thür aber 6 Z. Oeffnung annehmen, in welchem Falle durch jedes Kittfenster 2 F., durch jedes Bleifenster 4 F. durch jede Thür aber 3,6 F. Luft in jeder Minute verloren werden.

8. Endlich giebt Tredgold nur oberflächlich, Wagenmann[1] dagegen sehr genau die Wirkung gut schlieſsender Doppelfenster an. Hängt nämlich ein Thermometer innerhalb des Zimmers am Fenster, ein anderes zwischen beiden und ein drittes auſserhalb, so wird ohne besonders modificirende Umstände das mittlere eine geringere Temperatur zeigen, als das arithmetische Mittel der inneren und äuſseren beträgt. Zeigt z. B. das innere 12° R., das äuſsere 0°, so wird das mittlere nur etwa 3° bis 4° zeigen. Man darf sonach annehmen, daſs die Abkühlung durch doppelte Fenster nur den dritten Theil von derjenigen durch einfache betrage, da sie der Temperaturdifferenz zwischen der inneren und äuſseren Wärme proportional ist.

Von den bisher mitgetheilten Untersuchungen läſst sich leicht eine Anwendung auf die verschiedenen Arten der Heizung machen. So läſst sich danach berechnen, wie viel Brennmaterial verwandt werden müsse, um eine gewisse Quantität Wasserdampf bei Dampfmaschinen zu erzeugen, oder eine gewisse Menge Branntwein überzudestilliren, und wie viele Wärme dabei, so wie bei andern Heizungen, durch die aus Thon und gebrannten Steinen bestehende Umgebung des Feuerraumes verloren wird. Unter den vielen hierher gehörigen Problemen wähle ich indeſs das weitläuftigste und schwierigste, nämlich die Heizung der Zimmer zur näheren Betrachtung, wobei zuerst der Wärmeverlust, und dann der Ersatz desselben durch die gangbaren Heizmethoden zu berücksichtigen ist.

1 A. a. O. S. 11.

Digitized by Google

9. Der Wärmeverluſt irgend eines gegebenen Zimmers in einer anzunehmenden Zeit-Einheit läſst ſich auf keine Weiſe völlig genau berechnen, theils weil die oben aufgeſuchten Beſtimmungen nicht vollkommen genau ſeyn können, theils weil nicht füglich zu berechnende Nebenbedingungen einen ausnehmend bedeutenden Einfluſs ausüben. Dahin gehört insbeſondere der Einfluſs des Windes auf die ſchnellere Abkühlung der äuſsern Wandungen und die durch Feuchtigkeit auſserordentlich vermehrte Leitungsfähigkeit der letzteren, wenn ſie maſſiv ſind, ſo daſs ich mich nicht weit von der Wahrheit zu entfernen glaube, indem ich dieſe letztere für diejenigen Wände und Fenſterrahmen auf das Dreifache erhöhe, welche nach Auſsen frei ſtehen. Wird dieſemnach angenommen, daſs ein Zimmer ſchon bis zu der erforderlichen Temperatur erwärmt und alſo den Wänden ſchon eine dieſem entſprechende Wärme mitgetheilt ſey, ſo wird der dauernde Wärmeverluſt oder die Abkühlung von der inneren zur äuſseren Temperatur in 1 Minute folgende Gröſsen betragen.

Ein Pariſer Quad. F. Fenſterglasfläche, nahe 1 Lin. dick angenommen, nach Nr. 5 . . . . . . . . . . . . . = 0,300 Cub. F.

Dieſelbe Fläche eichene Fenſterrahmen zu 1 Z. dick nach Nr. 6. $= \frac{3 \times 0{,}68 \times 0{,}3}{12}$ . . 0,051 —

Thüren zu 1 Z. dick $= \frac{0{,}68 \times 0{,}3}{12}$ . . . . . . 0,017 —

Wände von gebrannten Steinen und Holz, wenn ſie nach Auſsen gehen, 6 Z. dick $= \frac{3 \times 0{,}84 \times 0{,}3}{72}$ . . . . . . . . . = 0,011 —

Dieſelben, wenn ſie an ungeheizte Räume ſtoſsen . . . . . . . . . . . . . . . = 0,004 —

Wände von Bruchſteinen, 2 F. dick, wenn ſie nach Auſsen gehen, $\frac{3 \times 2{,}0 \times 0{,}3}{288}$ = 0,0063 —

Dieſelben, wenn ſie an ungeheizte Zimmer oder Gänge ſtoſsen, 18 Z. dick $= \frac{2{,}0 \times 0{,}3}{216}$ = 0,0028 —

Dieſelben unter gleicher Bedingung, von gebrannten Steinen, 12 Z. dick $= \frac{0{,}84 \times 0{,}3}{144}$ = 0,0018 —



Digitized by Google

Fuſsböden und Decken, 10 Z. dick, wenn sie zu einem, dem freien Luftzuge ausgesetzten Orte führen $= \frac{3 \times 0,84 \times 0,3}{120} = 0,0063$ Cub. F.

Dieselben, wenn sie an ungeheizte aber geschlossene Räume grenzen $= \frac{0,84 \times 0,3}{120} = 0,0021$ —

Daſs diejenigen Wände, Decken, Fuſsböden, Thüren und selbst auch Fenster, welche die geheizten Räume von andern geheizten trennen, bei der Berechnung gänzlich wegfallen, versteht sich von selbst.

10. Hierzu kommt dann noch der Wärmeverlust durch die Oeffnungen der Thüren und Fenster, welcher nach Nr. 7 leicht gefunden wird, und eine nicht unbedeutende Gröſse beträgt, desgleichen ein nicht leicht zu berechnender, welcher aus dem Durchgange der Luft durch die feinen Risse der Wände und hauptsächlich der Decken entsteht. Sind namentlich die Mauern schnell und nicht mit Sorgfalt gemauert, so bleiben zwischen den Steinen unvermeidliche Risse, welche zwar mit Mörtel überdeckt und an der Oberfläche durch Weiſsen, Anstrich oder Tapete verschlossen werden, dennoch aber die an sich nur geringe Ableitung durch die massiven Theile etwas erhöhen. Noch ungleich mehr ist dieses der Fall bei den aus Holzwerk und Ziegelsteinen oder geeigneten Bruchsteinen bestehenden Wänden, bei denen namentlich das Holz durch Austrocknen schwindet, und unvermeidliche, wenn gleich nicht allezeit sichtbare, Risse zurückläſst, und eben so bei den Decken, namentlich wenn sie in den oberen Stockwerken zu den luftigen Speichern führen. Wollte man dieses in Abrede stellen, so würde solches dahin führen, die Decken und Wände als luftdicht schlieſsend zu betrachten, welches aber gegen die bekannte Schwierigkeit streitet, irgend einen Raum luftdicht abzuschlieſsen. Für Fuſsböden und Wände, durch welche die warme Luft kein Bestreben hat, vermöge ihres Aufsteigens zu entweichen, mag daher dieser Wärmeverlust bloſs in sofern berücksichtigt werden, als er in manchen Fällen das schnellere Erkalten der Zimmer erklärt, bei den Decken aber glaube ich den Betrag der Risse $= 0,00005$ der ganzen Fläche annehmen zu dürfen, wenn sie zu ungeheizten Zimmern führen, und dreimal so groſs, wenn sie den Fuſsboden luftiger Speicher bilden,

Digitized by Google

wobei dann zugleich die in diesem Falle stattfindende gröſsere Leitungsfähigkeit berücksichtigt wird. Beträgt demnach die Höhe der Zimmer 14 F. und der Temperaturunterschied 25° C., so erhält die Luft eine Geschwindigkeit = 2,72 F. in einer Secunde, und es entweichen durch 1 Quadratzoll Oeffnung 1,13 Cub. F. Luft in 1 Minute, oder um für den Fall, daſs die Decke zum Speicher führt, sogleich mit 3 zu multipliciren, und den Factor 0,00005 allgemein beizubehalten, 3,4 Cub. F.; für eine Temperaturdifferenz von 20° C. aber, also wenn die Decke den Fuſsboden eines ungeheizten Zimmers bildet, beträgt die Strömungsgeschwindigkeit 2,17 F. in einer Secunde, und der Wärmeverlust 0,9 Cub. F. für 1 Quad. Z. Oeffnung in 1 Minute.

11. Um an einigen Beispielen zu zeigen, auf welche Weise in gegebenen Fällen die Berechnung des Wärmeverlustes anzustellen sey, möge Folgendes dienen. Es werde angenommen in Pariser Maſs ein Zimmer 16 F. breit, 18 F. tief, 14 F. hoch, dasselbe habe zwei Fenster, jedes 6,0 F. hoch, 3,5 F. breit und zwei Thüren, jede 7,5 F. hoch und 3,5 F. breit, zwei der Wände mögen ins Freie gehen, die beiden andern an ungeheizte Räume grenzen, so giebt dieses folgende Werthe.

| | | |
|---|---|---|
| 27,5 Quad. F. Glasfläche geben 27,5×0,3 . . . . | 8,25 | Cub. F. |
| 14,5 — — Holzfläche — 14,5×0.051 . . | 0,74 | — |
| Zwei Fenster mit Sprossen, jedes 2 Z. Oeffnung . | 4,00 | — |
| Zwei Thüren zu 52,5 Q. F. = 52,5×0,017 . . | 0,89 | — |
| Dieselben, jede zu 3,6 F. Verlust durch Risse . . | 7,20 | — |
| 1. Gesamtverlust durch Kittfenster und Thüren . | 21,08 | — |
| 2. — — — Bleifenster . . . . . . . . . | 25,08 | — |
| Fensterwand nach Auſsen 182 Quadrat Fuſs = 182×0,0063 . . . . . . . . . . . . . . = | 1,15 | — |
| Desgleichen zweite = 252 Q. F. = 252×0,0063 . | 1,59 | — |
| Beide Wände, an Gänge oder Zimmer grenzend, nach Abzug der zwei Thüren 423,5 Q. F. = 423,5×0,0028 . . . . . . . . . . . . . . = | 1,20 | — |
| 3. Gesamtverlust durch die Wände . . . . . . . . | 3,94 | — |
| Beständen die beiden ersteren aus Holz und Steinen, so gäben sie 434×0,011 . . . . . . . . | 4,774 | — |
| Die beiden letzteren in diesem Falle 423,5×0,004 . | 1,694 | — |
| 4. Gesamtverlust durch die Wände . . . . . . . . . | 6,47 | — |



Digitized by Google

5. Fuſsboden und Decke dem freien Luftzuge ausgesetzt, geben 576 × 0,0063 . . . . . . = 3,63 Cub. F.
6. Dieselben ohne dem freien Luftzuge ausgesetzt zu seyn = 576 × 0,0021 . . . . . . . . . . . 1,21 —
7. Verlust durch die Decke nach Nr. 10 im ersten Falle = 288 × 144 × 0,00005 × 3,4 . . . . 7,45 —
8. Desgleichen im zweiten Falle = 288 × 144 × 0,00005 × 0,9 . . . . . . . = 1,87 —
9. Beständen endlich die beiden, an ungeheizte Zimmer oder Gänge grenzenden Wände aus gebrannten Steinen zu 12 Z. Dicke, so wäre der Wärmeverlust = 423,5 × 0,0018 . . = 0,76 —

Für ein Zimmer von der angegebenen Gröſse und Einrichtung in einem massiven Hause wäre also der Wärmeverlust aus Nr. 1. Nr. 3, im Mittel aus Nr. 5 und 6, desgleichen aus Nr. 7 zusammengenommen = 21,08 + 3,94 + 2,42 + 7,45 = 34,89 Par. Cub. F. Luft, welche in 1 Minute um die Differenz der inneren und äuſseren Temperatur abgekühlt werden. Diese Gröſse kann nach Nr. 2 auf 38,89 wachsen, wenn dasselbe Bleifenster hat, oder auf 29,31 nach Nr. 8 herabgehen, wenn die Decke nicht durch einen, dem freien Luftzuge ausgesetzten Raum begrenzt ist. Wären die innern Wände von der in Nr. 9 angenommenen Beschaffenheit, so betrüge jene obere Gröſse 34,45 Cub. F. Für ein Zimmer mit Wänden aus Holz und Steinen würde statt Nr. 3 vielmehr Nr. 4 zu setzen seyn, und jene Gröſse daher auf 37,42 Cub. F. wachsen, mit Bleifenstern also auf 41,42 u. s. w. ohne den bedeutenden Verlust durch geöffnete Thüren und Fenster zu berücksichtigen. Diese Bestimmungen gelten indeſs nur für die angegebene und eine wenig verschiedene Temperaturdifferenz. Da aber die Strahlung der Wärme bei gröſserer Intensität derselben so bedeutend wächst, so glaube ich der Wahrheit am nächsten zu kommen, wenn ich annehme, daſs die auf die angegebene Weise gefundene Gröſse mit $\left(\frac{\Delta t}{25}\right)^2$ multiplicirt werden muſs, um ein richtiges Resultat zu erhalten, wenn $\Delta t$ den Temperaturunterschied der inneren und äuſseren Luft in Centes. Graden bezeichnet.

Das hier gefundene Resultat der Abkühlung geheizter Zimmer ist geringer, als die beiden bedeutendsten Gewährsmänner,

Digitized by Google

Tredgold und Wagenmann dasselbe angeben; allein da es sich auf die Ergebnisse genau angemessener Versuche stützt, so muſs es bis zu näheren Bestimmungen beibehalten werden. Wenn aber aus der gemeinen Erfahrung zu folgen scheint, daſs bei der gewöhnlichen Heizung eine stärkere Abkühlung stattfindet, so ist dieses eine Folge davon, daſs meistens die Fenster und Thüren der Zimmer nicht so fest schlieſsen, als hier angenommen ist, die Wände sind nicht selten rissiger, als sie der Berechnung nach seyn sollten, und sehr feuchte Mauern geben wohl ohne Zweifel eine über die angenommene Regel hinausgehende Abkühlung. Auſserdem aber beträgt der Inhalt des angenommenen Zimmers nur 4032 Cub. F. und es würde dasselbe also in $\frac{4032}{34,89}$ Min. d. h. in 1 Stunde 53 Min. gänzlich abgekühlt seyn, oder es würde innerhalb einer Stunde nach dem Versiegen der Wärmequelle um nahe $\frac{1}{2}$ der Temperaturdifferenz herabsinken, welches gewiſs mit der Erfahrung genau genug übereinstimmt.

12. Soll also ein gegebenes Zimmer fortdauerd bei der mittleren Temperatur erhalten werden, so muſs eine gewisse Wärmequelle vorhanden seyn, welche die stets fortdauernde Abkühlung unausgesetzt compensirt. Um die erforderliche Wirksamkeit dieser letzteren mehr als bloſs oberflächlich zu schätzen, müſste die Gröſse der Temperaturdifferenz gegeben seyn, und da diese bekanntlich an den verschiedenen Orten der Erde und zu verschiedenen Zeiten sehr ungleich ist, so bleibt nichts übrig, als eine gewisse normale Gröſse hierfür festzusetzen, welche dann in sofern leicht auf andere Fälle anwendbar ist, als man die erforderliche Wärmeproduction der Gröſse der Temperaturdifferenz direct proportional setzen kann. Zwei Wärmequellen werden gewöhnlich weder bei den theoretischen Untersuchungen über die Zimmerheizung[1], noch bei der praktischen Anwendung derselben in Rechnung genommen, und dennoch sind sie keineswegs so unbedeutend, als man hiernach schlieſsen sollte, nämlich die durch den Lebensprocess der Menschen und die durch das Brennen der Lichter gegebene. Weil sich indeſs die auſserordentliche Wärme in hell erleuchteten und mit Menschen überfüllten Zimmern hieraus erklärt, so will ich in genähertem Werthe auch diese Gröſsen zu bestimmen suchen.

---

1 Fourier a. a. O. gedenkt derselben allerdings ohne nähere Bestimmung.

Digitized by Google

Ein gesunder erwachsener Mensch verwandelt[1] nach Allen und Pepys in 24 Stunden 5148 Gran engl. Kohlenstoff in Kohlensäure, und da die durch den Lebensproceſs erzeugte Wärme nach Lavoisier gröſser ist, als die durch bloſses Verbrennen, so können wir diese Angabe, als die gröſste unter allen beibehalten, wenn wir zugleich annehmen, daſs ein Gran Kohlenstoff beim Verbrennen 40 Gran Eis zum Schmelzen bringt, wonach also jene 5148 Gran zusammen 205920 Gran Eis von 0° C. Temperatur zu schmelzen vermögen. Indem aber 5760 engl. Grane 1 Pf. Troy Gewicht oder 372,9986 Grammes betragen, 1 Gran Wasser aber ein Cub. Centimeter bildet, ein Meter 443,296 Par. Lin. ausmacht[2], das Eis aber 75° C. also 3×25 Cent. Grade Wärme gebraucht, um flüssig zu werden, das Verhältniſs des Luftvolumens zu dem des Wassers aber bei gleichem Gewichte = 1:0,001299 und die Wärmecapacität beider = 0,2669 : 1 ist, so reicht diese Wärmeproduction hin, um

$$\frac{3 \times 205920 \times 372,9986 \times 443,296^3}{1000000 \times 5760 \times 0,001299 \times 0,2669 \times 144^3} = 3444 \text{ Par. Cub.}$$

F. Luft, also in 1 Minute 2,4 Cub. F. Luft um 25° C. Wärme zu erhöhen. Es ist indeſs bekannt, daſs der Lebens- und Verbrennungs-Proceſs der Menschen nicht zu allen Zeiten gleich ist, und da er bei der Anstellung jener Versuche schon wegen der Aufmerksamkeit auf dieselben gesteigert seyn muſste, so kann jene gefundene Gröſse für solche Individuen, welche in lebhafter Bewegung sind, z B. Tanzende oder Handarbeiter, füglich beibehalten, für Stillsitzende aber auf die Hälfte herabgesetzt werden, um auf allen Fall kein zu groſses Resultat zu erhalten, und die Angabe über die Menge des verbrannten Kohlenstoffs von Allen und Pepys mit der von Lavoisier auszugleichen.

Auf gleiche Weise reicht 1 Pf. Oel oder Unschlitt nach Dalton[3] beim Verbrennen hin, um 104 Pf. Eis von 0° C. Temperatur zu schmelzen. Wird also, mit Rücksicht auf etwa leichteres Gewicht, angenommen, daſs im Mindesten 8 Lichter auf 1 Pf. gehen, und ein solches 10 Stunden brennt, so erzeugt mit Beibehaltung der oben angewandten Werthe 1 Unschlittlicht

1 S. *Athmen.* Th. I. S. 422.

2 Vergl. *Maſs.*

3 Gmelin Handbuch d. Chemie. I. S. 149. Vergl. *Wärme.*

Digitized by Google

oder eine diesem gleiche Oellichtflamme in jeder Minute eine Wärme, wodurch 2,04 Cub. F. Luft um 25° C. erhöhet werden, eine Gröſse, welche bei der Genauigkeit der zum Grunde liegenden Bestimmungen unverändert beibehalten, oder auf 2,1 erhöhet werden kann. Rechnet man also für ein Zimmer von der angegebenen Gröſse 2 Lichter und 4 Menschen, so werden diese den berechneten Wärmeverlust des einmal geheizten Zimmers um nahe $\frac{7}{35}$ oder um $\frac{1}{5}$ wieder ersetzen, ohne den bedeutenden Abgang durch Oeffnen der Thüren und Fenster in Anschlag zu bringen.

Alle übrige, und wo die angegebenen Ursachen fehlen, alle Wärme der Gemächer wird durch Verbrennung eines Brennmaterials erzeugt, und die Art, wie dieses geschieht, oder die Wärme den Zimmern zugeführt wird, heiſst dann die Heizung derselben. Obgleich die verschiedenen Heizungsarten manches mit einander gemein haben, so unterscheiden sie sich doch in einigen wesentlichen Puncten, weswegen ich die vorzüglichsten derselben einzeln beschreiben werde, nämlich die Canal-Heizung, die Ofenheizung, die Luftheizung und die Dampfheizung, und werde ich mich bei vorkommenden gleichen Bedingungen dann auf das schon Gesagte wieder beziehen.

13. Die *Canalheizung* wird hauptsächlich nur zur Erwärmung der Treibhäuser deswegen angewandt, weil man dadurch die Wärme dem Boden der groſsen Räume nahe bringen, sie sehr gleichmäſsig vertheilen und manche Gewächse, welche viele Hitze bedürfen, sehr nahe mit den warmen Canälen in Berührung bringen kann, wogegen die sonst am meisten gebräuchliche Ofenheizung für die groſsen Räume der in der Regel nicht dicht gebaueten Treibhäuser an einigen Stellen zu groſse Hitze geben, an andern aber die Pflanzen nicht gegen das Erfrieren sichern würde. Die Canäle sind meistens von quadratischem oder rectangulärem Queerschnitte aus gebrannten Steinen so gemauert, daſs sie vom Ofen aus wenig ansteigend nicht viel über den Boden der zu heizenden Räume erhaben der Länge nach an den Seiten der Wärmehäuser hinlaufen, die aus dem Ofen kommende heiſse Luft nebst dem Rauche durch sich hindurchleiten, und am Ende aus einem gerade aufsteigenden Schornsteine entweichen lassen. Zuweilen sind diese Canäle mit guſseisernen Platten, der gröſseren Haltbarkeit wegen, bedeckt oder ganz daraus gefertigt. Die Hauptsache beruhet darauf, daſs der am Ende befindliche Schornstein gut zieht, um hierdurch zugleich

Digitized by Google

einen Zug in den wenig ansteigenden Canälen zu bewirken, weil sonst der gröſste Theil der im Oſen erhitzten Luft aus der zum Einheizen dienenden Oeffnung desselben entweicht, und unbenutzt verloren wird. Auf allen Fall ist diese Heizungsart des letzteren Umstandes wegen nicht holzersparend und in der Anlage oft unsicher rücksichtlich der Erreichung des beabsichtigten Zwecks, indeſs lassen sich hierfür keine weiteren Regeln angeben, als daſs es gut ist, den Oſen so tief zu legen, und den Schornstein so hoch zu machen, als es die Localität verstattet, um den Zug hierdurch zu befördern.

Auſserdem dient, oder diente vielmehr früher, ehe die Luftheizung allgemeiner bekannt war, die Canalheizung auch zur Erwärmung der Zimmer in Pallästen. Die Stubenöſen jeder Art haben nämlich das Unangenehme, daſs sie in ihrer Nähe eine überaus groſse Hitze verbreiten, die Wirkung ihrer Erwärmung aber nicht auf groſse Fernen erstrecken, mithin sich für sehr geräumige Säle nicht eignen, wo sie ohnehin oft nicht symmetrisch angebracht werden können und somit leicht mehr oder weniger entstellen. Man suchte daher die Fuſsböden und Wände zu erwärmen, um die Ableitung der Wärme durch diese zu hindern und noch auſserdem den erforderlichen Wärmeüberschuſs für die nicht erwärmten Wände, Thüren und Fenster, desgleichen für die im Zimmer befindliche Luft von ihnen zu gewinnen. Zu diesem Ende werden Röhren, meistens von Eisenblech, in den Wänden und unter dem Fuſsboden hingeführt, mit einem groſsen Oſen in Verbindung gesetzt, und leiten auf diese Weise den heiſsen Rauch und die erhitzte Luft aus demselben durch sich hindurch, um den gewünschten Effect hervorzubringen. Die Einrichtung hat die so eben bemerkten Nachtheile und ist noch auſserdem wegen möglicher Feuersgefahr gefährlich, wie man mich denn glaubhaſt versichert hat, daſs das Schloſs in Cassel unter der Regierung des Königs Jerome Napoleon durch diese Veranlassung abgebrannt sey. Das allgemeinere Bekanntwerden der Luftheizung wird diese Methode gänzlich verbannen.

14. Die *Oſenheizung*, die gemeinste unter allen, besteht darin, daſs man Oefen in die Zimmer setzt, das Brennmaterial darin verbrennen läſst, und die hierdurch erzeugte Wärme den Zimmern unmittelbar mittheilt. Sie ist, unter übrigens gleichen Bedingungen, im Allgemeinen die mindest kostspielige und die

Digitized by Google

sicherste rücksichtlich der gewissen Erreichung des beabsichtigten Zwecks einer hinlänglichen Erwärmung, wenn die Zimmer nicht allzu groſs sind, wie Fabrik- Concert und Tanz-Säle, Theater, Kirchen u. s. w. Dagegen haben die Stubenöfen mehr oder minder den schon gerügten Nachtheil einer ungleichen Vertheilung der Wärme, indem sie bei groſser Hitze in ihrer Nähe die entfernteren Theile der Zimmer kalt lassen, und daſs die von ihnen ausstrahlende Wärme überhaupt unangenehm afficirt. Uebrigens ist die Ungleichheit der durch sie bewirkten Erwärmung der Zimmer in sofern oft vortheilhaft, als die verschiedenen Bewohner derselben nach ihrer individuellen Disposition sich in geringerer oder gröſserer Entfernung von ihnen aufhalten können. Bei den Oefen kommt dann das Material, woraus sie bestehen, ihre Form und Gröſse in nähere Betrachtung.

15. Im Allgemeinen ist das Materiale der Oefen entweder Eisen oder Thon; denn obgleich auch Kupfer sich wegen seiner mehr als doppelt so groſsen Wärmeleitung sehr gut dazu eignen würde, so ist es doch theils zu kostbar, theils verbreitet es erhitzt leicht einen unangenehmen Geruch, würde in groſser Hitze sich leichter biegen und mehr verzehrt werden und auſserdem würde seine gröſsere Ausdehnung leicht ein Abfallen des Kittes verursachen. Die übrigen Metalle, welche man wohl dazu benutzen könnte, sind theils zu kostbar, theils zu leicht flüssig für den erforderlichen Grad der Hitze, und so wird das Eisen, welches sich in jeder Hinsicht sehr gut dazu eignet, ausschlieſslich dazu verwandt. Ferner wählt man in der Regel Guſseisen, weil dieses am wohlfeilsten ist, und am leichtesten in der hierfür paſslichen Form dargestellt werden kann; auſserdem aber Eisenblech theils in Absätzen zwischen den Theilen von Guſseisen, theils als Aufsätze auf guſseisernen Heizkasten, theils für die ganzen Oefen. Das Eisenblech hat den Vorzug, daſs es die Wärme leichter durchläſst, dagegen aber ist es theurer und verbrennt wegen seiner unbedeutenden Dicke leichter, weswegen es sich für den Heizkasten nicht eignet. Ohnehin sind bloſs die alten Oefen aus den Zeiten, als die Kunst des Gieſsens noch unvollkommener war, dick und schwerfällig, die neuen aber haben kaum mehr als zwei bis vier Linien Metallstärke, so daſs man aus dieser Ursache nicht genöthigt ist, zu dem dünneren Bleche seine Zuflucht zu nehmen. Eiserne Oefen haben in einem hohen Grade den schon gerügten Nachtheil,

Digitized by Google

daſs sie die Wärme stark ausstrahlen laſsen und deswegen in ihrer Nähe unangenehm afficiren, auch verbreitet das Eisen, wenn sie sehr stark geheizt werden, theils an sich, theils durch den leicht in ihnen verbrennenden Ruſs einen übelen Geruch, endlich nehmen sie sehr schnell eine grelle Hitze an und geben diese in kurzer Zeit wieder ab, so daſs sie also bald erkalten und eine oft wiederholte Erneuerung des Feuers, eine sorgfältigere Wartung, ein häufigeres Nachlegen erfordern. Berücksichtigt man dagegen aber, daſs sie die Zimmer ungleich schneller erwärmen, bei groſser Kälte die Hitze bedeutend weiter zu treiben vermögen, als thönerne von gleicher Gröſse, daſs das sogenannte Nachhalten der Wärme in fest gebaueten Zimmern weniger erforderlich ist und zum Theil durch die erwärmten Wände selbst geschieht, in minder dichten aber wegen steter Erkaltung auch eine ununterbrochene Erneuerung der Wärme erfordert wird, daſs dicke thönerne Oefen zu ihrer Erwärmung eine längere Zeit bedürfen, während welcher ein groſser Theil der Hitze in die Schornsteine entweicht, und daſs endlich die eisernen Oefen die dauerhaftesten sind, nach langem Gebrauche aber von ihrem Metallwerthe nicht sehr viel verloren haben, so kann ihnen im Ganzen der gröſsere Vorzug nicht abgesprochen werden.

16. Der thönernen Oefen giebt es sehr verschiedene Arten. Die schlechtesten unter ihnen werden aus gebrannten Steinen aufgemauert und mit Lehm überstrichen, müssen daher dick und unförmlich seyn, wenn sie gehörige Haltbarkeit haben sollen. Man kann indeſs über einen eisernen Heizkasten aus ganz gewöhnlichen gebrannten Steinen einen Ofen von beliebiger Form aufführen, mit Lehm oder Töpferthon überziehen, mit Wasserfarbe marmoriren oder auf sonstige Weise anstreichen, und auf diese Art mit wenigen Kosten einen verhältniſsmäſsig hinlänglich eleganten Ofen erhalten. Die gewöhnlichen thönernen Oefen sind von Fayance und aus einzelnen Stücken, den sogenannten Kacheln, zusammengesetzt, weswegen sie auch Kachelöfen genannt werden. Diese Kacheln können mehr oder minder kostbar seyn, und bis zu ächtem Porzellan gesteigert werden, in welchem Falle sie sich indeſs nur für die Prachtzimmer der Paläste eignen. Die Kachelöfen insgesammt haben der Dauerhaftigkeit wegen eine eiserne Bodenplatte, zuweilen einen eisernen Heizkasten und zuweilen dient die Fayance oder das

Digitized by Google

Porzellan nur zum Ueberzuge eiserner Oefen, in welchem Falle sie zwar dauerhaft und gut, aber auch sehr kostbar sind. Die Vorzüge der thönernen Oefen bestehen darin, daſs sie die oben erwähnte starke Strahlung der eisernen vermeiden; ihre Wärmeleitung verhält sich nämlich zu der des Eisens nach Despretz[1] wie 11,4 zu 374,3 und auſserdem sind ihre Wände 6 bis im höchsten Falle 30 mal so dick als bei den eisernen, woraus dieses mehr als genügend erklärlich wird. Hierzu kommt dann, daſs Menschen, Zeuge und Sachen, welche mit ihrer Oberfläche in Berührung kommen, weniger leicht verbrannt werden, daſs man an ihnen die mannigfaltigsten geschmackvollen Formen und schöne Farben anbringen kann, und auſserdem pflegen sie selten den unangenehmen Geruch der eisernen Oefen zu verbreiten, wenn sie erst durch mehrmaliges starkes Heizen gehörig ausgetrocknet und die etwa in ihrer Masse enthaltenen organischen Stoffe zerstört sind. Endlich halten die thönernen Oefen die Wärme ungleich länger an sich, als die eisernen, und sind daher weit mehr geeignet, den steten Wärmeverlust der Zimmer ohne Unterbrechung wieder zu erneuern und somit eine angenehmere, mehr gleichmäſsige Temperatur zu erhalten. Die Ursache hiervon liegt theils in der gröſseren Wärmecapacität des Thones, theils in der ungleich gröſseren Masse der aus demselben verfertigten Oefen. Die specifische Wärme des gebrannten Thones wird nämlich durch Kirwan = 195, des Eisens durch Crawford = 127 gesetzt, und nach J. T. Mayer's Formel berechnet[2] ist ihr Verhältniſs = 209:158, so daſs man sie nahe als doppelt so groſs annehmen kann, und wird dann die Masse eines Kachelofens dreimal so groſs angenommen, so nimmt derselbe sechsmal so viele Wärme auf, als ein eiserner, welche er dann dem allmälig erkaltenden Zimmer wieder mittheilt. Man-

---

1 Ann. Ch. P. XXXVI. 422.

2 Boeckmann Vers. über Wärmeleitung u. s. w. S. 113. Wagenmann a. a. O. S. 15 giebt das Verhältniſs = 4:1 an. Da aber die Versuche nicht angegeben sind, wodurch diese Bestimmung aufgefunden ist, und sie von den älteren und dem Resultate der Rechnung zu sehr abweicht, so kann ich ihr ohne nähere Prüfung nicht beitreten. Auſserdem wird die spec. Wärmecapacität nach der Masse bestimmt, und da das spec. Gew. des Thons etwa = 2 des Eisens = 7 ist, so muſs für das Volumen beider noch das Verhältniſs 1 : 8,5 in Rechnung genommen werden.

Digitized by Google

che schlagen diesen Vorzug sehr hoch an, und es unterliegt keinem Zweifel, daſs die längere Zeit hindurch verbreitete mildere Erwärmung sehr angenehm ist. Dagegen aber läſst sich nicht in Abrede stellen, daſs ein thönerner Ofen schon eine geraume Zeit geheizt seyn muſs, ehe er anfängt das Zimmer zu erwärmen, und daſs durch die zwar seltener erforderliche, aber dann auch länger dauernde und stärkere Heizung eine gröſsere Menge von heiſser Luft und Rauch in den Schornstein entweicht; auſserdem aber ist das Eisen nach Boeckmann's Versuchen[1] ein schlechterer Wärmeleiter als Thon, in so fern es die einmal erhaltene Wärme längere Zeit an sich hält, u. z. im Verhältniſs von 944 : 332, wodurch der Einfluſs der specifischen Wärmecapacität wieder aufgehoben wird, insofern er hierin schon begriffen ist, und ein thönerner Ofen müſste also 6 mal so viele Masse haben als ein eiserner, wenn er doppelt so lange Zeit die Wärme erhalten sollte.

Dieses Resultat steht indeſs mit der Erfahrung im Widerspruche, und muſs dieses auch nothwendig, weil Boeckmann bei seinen Versuchen auf die dem spec. Gewichte proportionale gröſsere Masse des Eisens keine Rücksicht genommen hat. Wird demnach das angegebene Verhältniſs hiermit multiplicirt, so erhält man $\frac{944}{332} \times \frac{2}{7} = \frac{1888}{2324}$, und die Wärmeableitung des Thons verhält sich zu der des Eisens $= 1 : 1{,}229$. Zugleich aber leitet der Thon die Wärme mit Eisen verglichen nach Despretz im Verhältniſs von 11,4 : 374,3. Nehmen wir diese letztere Gröſsenbestimmung als genau an, so würde ein thönerner Ofen von gleicher Masse mit einem eisernen, also bei gleicher Form von etwas mehr als 3,5, fast 4 mal dickeren Wänden, beide durch eine gleiche Quantität Brennmaterial erheizt, vom Anfange der Heizung an bis zur völligen oder bis zu einer nahe gleichen Erkaltung $\frac{374{,}3}{1{,}229 \times 11{,}4} = 26{,}8 : 1$ Zeit bedürfen, oder der erstere würde nahe 27 mal so spät erkalten, als der letztere. Eine genaue und völlig scharfe Prüfung dieses Resultates durch die Erfahrung ist unmöglich, denn unter Umständen könnte ein eiserner Ofen schon wieder erkaltet seyn, ehe der thönerne nur die gröſste Hitze seiner Auſsenfläche annähme, im Ganzen aber stimmt dasselbe mit der Erfahrung nahe genug überein, und es

1 A. a. O. S. 97 u. 100.

folgt aus demselben also, daſs ein thönerner Ofen 27 mal so lange die Wärme halten, im Mittel aber nur $\frac{1}{27}$ so viel abgeben würde, als ein eiserner, die übrigen Bedingungen bei beiden einander gleich gesetzt. Auf allen Fall ergiebt sich hieraus mit der Erfahrung übereinstimmend, daſs der erstere bei weitem längere Zeit eine mildere und durch Strahlung ungleich weniger unangenehme Wärme verbreitet, als der letztere.

Ohngeachtet ich indeſs die Vorzüge der thönernen Oefen keineswegs verkenne, so bin ich dennoch geneigt in Gemäſsheit der Resultate aus zwei Versuchsreihen, in denen das nämliche Zimmer zuerst mit einem eisernen und dann mit einem thönernen Ofen geheizt wurde, den ersteren im Ganzen den Vorzug einzuräumen, unter der Voraussetzung, daſs sie gut construirt, nicht zu stark von Metall sind und daſs die Feuerung sorgfältig regirt wird [1]. Oefen mit einem eisernen Heizkasten und einem thönernen Aufsatze vereinigen so ziemlich die Vorzüge beider, und sind daher sehr empfehlenswerth, jedoch reicht meine Erfahrung nicht hin, um über die entschiedenen Vorzüge der drei genannten Arten ein festbegründetes Urtheil bestimmt auszusprechen.

17. Die Form der Oefen ist sehr mannigfaltig, so daſs es an diesem Orte sogar zweckwidrig seyn würde, sie in nur einigem Grade vollständig beschreiben zu wollen. Auſserdem hat man insbesondere in den neuesten Zeiten angefangen vielfach daran zu künsteln, hauptsächlich in der Absicht, die glühende Luft und den heiſsen Rauch im Ofen durch Verbreitung ihrer Wärme nach Auſsen mehr abzukühlen, und die äuſsere Luft mit der äuſseren Oberfläche der Oefen mehr in Berührung zu bringen, um ihr die erzeugte Wärme besser mitzutheilen und zugleich stär-

---

1 Weil dieses letztere nicht eben leicht zu erreichen ist, so giebt Wagenmann a. a. O. S. 15. den thönernen den Vorzug, und ich will nicht leugnen, daſs es schwer seyn dürfte, das Gegentheil überzeugend darzuthun. Die von ihm angenommenen Gröſsenbestimmungen sind indeſs, nach den so eben mitgetheilten, nicht genau richtig. Uebrigens stimme ich dem Urtheile Wagenmann's vollkommen bei, wenn er S. 18. sagt: „Wo man eine schnelle Erwärmung für kurze „Zeiten bedarf, da sind eiserne Oefen zweckmäſsiger; sie werden „auch bei guter Feuereinrichtung, sorgfältiger Heizung und nachherigem dichtem Verschluſs keinen gröſseren Wärmeverlust verursa„chen, als die Kachelöfen, niemals aber die gleichmäſsige Erwär„mung wie diese geben."

kere Strömungen derselben in den Zimmern zu veranlassen. So viel ist mit Sicherheit ausgemacht, daſs wegen der geringen Leitungsfähigkeit der Luft kein Ofen im Stande seyn würde, seine Wärme bis auf 8 oder 12 F. Entfernung fortzupflanzen, wenn die Luft ohne alle Bewegung bliebe, und die Erwärmung eines Zimmers ist daher nur dadurch möglich, daſs die den Ofen umgebende erwärmte Luft statisch aufsteigt, und somit der von unten wieder herbeiströmenden kalten Luft den Zutritt zur Oberfläche des Ofens verschafft, um dort gleichfalls erwärmt zu werden, und dann aufzusteigen. Es leidet eben daher keinen Zweifel, daſs diese anhaltende Luftströmung, welche für die allgemeine Verbreitung der Wärme so nothwendig ist, durch einige der vorgeschlagenen Mittel befördert wird; von der andern Seite aber ist auch dahin zu sehen, daſs die durch eine weit verbreitete Strahlung von der Oberfläche des Ofens aus erzeugte Wärme, und die hieraus hervorgehende schnellere Mittheilung derselben, nicht verloren werde. Viele der vorgeschlagenen Verbesserungen der Stubenöfen haben indeſs die gehegten Erwartungen nicht befriedigt, u. z. deswegen, weil man schon im Allgemeinen annehmen darf, daſs allzukünstliche Vorrichtungen minder brauchbar sind, weil sie neben der Erreichung des einen Zwecks einem anderen gleich wichtigen entgegenwirken. Mir scheinen daher bei der Einrichtung der Oefen nur folgende drei Stücke eine stete Berücksichtigung zu verdienen, nämlich erstens, daſs das Brennmaterial schnell und vollständig verbrenne; zweitens, daſs die hierdurch erzeugte heiſse Luft mit wenigem Rauche (wegen vollständiger Zersetzung) ihre Wärme gröſstentheils durch die Wandungen des Ofens abgebe, um nicht unnütz in den Schornstein zu entweichen; und drittens, daſs auch die unteren Theile der Zimmer hinlänglich an der Erwärmung Theil nehmen. Dieses Letztere wird dadurch erreicht, wenn man den Feuerraum des Ofens nicht zu hoch stellt, indem sonst die kältere, wegen ihres gröſseren Gewichtes herabsinkende Luftschicht in eine Art von Stagnation versetzt werden kann, vermöge welcher sie an den Strömungen der übrigen Luftschichten gar keinen oder nur einen geringen Antheil nimmt. Die übrigen beiden wesentlichen Bedingungen werden durch verschiedene Constructionen der Oefen besser oder schlechter erreicht, so daſs man nicht füglich die eine oder die andere als ausschlieſslich geeignet und die übrigen sämmtlich als untauglich darstel-

Digitized by Google

len kann, wie schon von selbst daraus folgt, daſs die verschiedensten Arten noch immer angewandt und von vielen als die vorzüglichsten der Erfahrung nach betrachtet werden.

18. Die Oefen sind entweder sogenannte Windöfen, welche in den Zimmern eingefeuert werden, oder Caminöfen. Welcher von beiden Arten der Vorzug gebühre, ist schwer zu entscheiden. Ziemlich allgemein wird angenommen, daſs die ersteren mehr Brennmaterial erfordern, und dieses ist im Ganzen nicht ungegründet. Um aber in dieser wissenschaftlichen Untersuchung nicht bei einer allgemeinen Empirie stehen zu bleiben, mögen folgende näherungsweise richtige Gröſsenbestimmungen zur Entscheidung dienen. Aus einigen, vor längerer Zeit angestellten Versuchen fand ich, daſs sogenanntes gut ausgetrocknetes (lufttrocknes) Holz, nachdem es mehrere Tage unter einem Zimmerofen gedürret war, etwa $\frac{1}{8}$ seines Gewichtes verloren hatte. Es läſst sich nicht mit hinreichendem Grunde annehmen, daſs das zum gewöhnlichen Verbrennen verbrauchte Holz einen solchen Grad der Trockenheit habe, als jenes zur Verarbeitung bestimmte, noch daſs durch die von mir angewandte Austrocknung alles Wasser aus demselben entfernt sey. Um daher auf allen Fall keine zu groſse Werthe zu erhalten wollen wir annehmen, gemeines, gut lufttrocknes Holz enthalte, 0,16 Wasser und 0,84 verbrennliche Stoffe. Man kann ferner annehmen, daſs wohl ausgetrocknetes Holz im Mittel nach Rumford[1] 0,43 Kohle liefert, und so wird man sich von der Wahrheit nicht sehr entfernen, wenn man voraussetzt, daſs der Rest beim Verbrennen als Kohlenwasserstoffgas zu betrachten sey. Nach Dalton[2] aber erfordert 1 ℔ des letzteren zum Verbrennen 4 ℔ Sauerstoffgas, 1 ℔ Kohle aber 2,8 ℔ dieser Gasart, mithin verzehrt 1 ℔ verbrennendes Holz $0,43 \times 2,8 + 0,41 \times 4 = 2,8$ ℔ Sauerstoffgas, und zersetzt also unter der Voraussetzung einer vollständigen Verzehrung von allem Sauerstoffgas der atmosphärischen Luft $\frac{2,8}{0,21} = 13$ ℔ Luft, oder 143 Cub. F. Wenn man aber nach einer allerdings sehr unsicheren Bestimmung annimmt, daſs bei gut getrocknetem Holze vom Anfange seines

1 Schweigg. J. VIII. 160.

2 Ein neues System des chem. Theils d. Naturw. übers. von Wolf. Berl. 1812. II Vol. 8. I. 91.

Digitized by Google

Brennens an bis zur vollständigen Verzehrung der Kohlen 100 Minuten erfordert werden, und ein Zimmer von den in Nr. 11. angenommenen Dimensionen zur Erwärmung bei einem Temperaturunterschiede von 25° C. für eine einmalige Heizung 10 ℔ Holz bedarf, so verzehren diese in jeder Minute 14,3 Cub. F. Luft. Nach der ebendaselbst aufgestellten Berechnung dürfen aber in ein solches Zimmer eindringen: durch die Fenster 4,00; durch die Thüren 7,20, durch die Decke 7,45, also zusammen 18,45 Cub. F. Luft, und es ergiebt sich also, daſs unter den angenommenen Bedingungen die Windöfen nicht nachtheilig seyn würden. Wenn man aber berücksichtigt, daſs die Luft beim Verbrennen des Holzes kaum zur Hälfte zersetzt wird, so wäre diesemnach die Heizung mit Windöfen wegen der gröſseren Menge der in die Zimmer dringenden Luft im Verhältniſs von $\frac{2 \times 14,3}{18,45}$ oder nahe $\frac{28}{18}$, also etwa ein und ein halbes Mal gegen die Heizung durch Caminöfen kostspieliger, und nur in demjenigen Falle würde dieser gröſsere Aufwand nicht stattfinden, wenn die Zimmer weniger dicht verschlossen sind, als bei der Berechnung angenommen wurde, wie dieses sehr häufig der Fall ist, und daher eine gröſsere Menge Luft eindringen lassen. Von der anderen Seite pflegen indeſs die in den Zimmern geheizten Windöfen sorgfältiger gewartet zu werden als die Caminöfen, man miſst bei ihnen die erforderliche Menge des Brennmaterials genauer ab und verschlieſst sie regelmäſsiger, wenn dasselbe verzehrt ist, wodurch jener Nachtheil etwas wieder aufgehoben wird. Für manche Person hat es auſserdem eine Annehmlichkeit, die Heizung ihrer Zimmer nach Willkür selbst zu regieren, wozu noch der Vortheil der Windöfen kommt, daſs sie die kältere und mit Dünsten verschiedener Art gemengte, die verdorbene, Luft wegführen. Wenn man aber berücksichtigt, daſs es an sich unmöglich ist, den Zug der Windöfen so genau zu reguliren, daſs sie jederzeit nur die zur Consumtion des Brennmaterials erforderliche Menge Luft einsaugen, indem zwar die Stärke des Zuges und die Menge der zur Verbrennung des Holzes und der Kohlen erforderlichen Luft mit der Intensität des Brennens und der dadurch erzeugten Hitze zunimmt, jedoch keineswegs in ganz gleichem Verhältnisse, daſs noch auſserdem verschiedene Nebenumstände, als die Richtung des Windes, der Zug der Schornsteine, die Höhe des Ofenrohrs u. s. w. auf

Digitized by Google

die Stärke des Luftzuges in den Windöfen einen bedeutenden Einfluſs haben, und daſs derselbe in der Regel etwas stärker seyn wird, als gerade erforderlich ist, damit nicht bei nachtheiliger Richtung des Windes Rauch ins Zimmer komme, so folgt mit Gewiſsheit, daſs die Windöfen rücksichtlich des gröſseren, bis mehr als zum Doppelten steigenden Bedarfs an Brennmaterial nachstehen, so wenig auch ihre übrigen Vorzüge zu verkennen sind.

19. Unter den verschiedenen, mir bekannten, Constructionen der Oefen theile ich drei mit, welche die in Nr. 18. geforderten Bedingungen am besten zu erfüllen geeignet sind, als Windöfen und auch als Caminöfen eingerichtet und in einigen Stücken nach dem jederzeitigen Bedürfnisse und dem Wunsche der Eigenthümer abgeändert werden können. Der erste ist ein runder Säulenofen, und zunächst wird angenommen, daſs der- Fig. 62.
selbe aus Guſseisen verfertigt sey, jedoch kann er auch aus Blech gemacht werden, selbst aus Thon und, wenn man verlangte, von rectangulärer Form. A ist der Heizraum, an welchem der Hals B zum Eintritt in den Camin sich befindet. Die Säule C, welche in einer Nuth auf dem Heizkasten steht, und in der Regel als rund angenommen wird, während der horizontale Durchschnitt des Heizkastens rectangulär ist (jedoch auch abgerundet seyn kann, wenn man dieses vorzieht), kann cylinderförmig seyn, obgleich es im Wesentlichen keinen Unterschied macht, wenn man ihr unten einen Wulst, oder durch sonstige Verzierungen, z. B. Guirlanden u. s. w. eine geschmackvollere Form giebt, und auf gleiche Weise ist es für ihre eigentliche Bestimmung gleichgültig, ob sie oben flach gelassen oder mit einer Urne oder einer sonstigen Figur geschmückt wird, wie denn überhaupt die verschiedenen möglichen Verzierungen dieser Oefen nicht in den Bereich der vorliegenden Untersuchungen gehören. In der Ebene der Axe dieser Säule bis auf den Heizkasten herab geht in zwei seitwärts an der inneren Wandfläche derselben befindlichen Nuthen das Blech von Guſseisen $\alpha\beta$ herab (die sogenannte Zunge), und wird mit dem gemeinen Kitt der Ofensetzer unten und an den beiden Seiten eingekittet. Sie dient dazu, um die glühende Luft zu zwingen, in der Richtung der Pfeile sich zu bewegen und mehr abgekühlt in den Hals $\gamma\,\delta$ es Rauchrohres zu treten. Letzteres kann entweder geradeaus in den Camin zurückgeführt werden, wenn man mehr

auf Schönheit als auf Erſparung des Brennmaterials ſieht, im letzteren Falle aber kann daſſelbe rechtwinklich umgebogen, bis zu einer beliebigen Höhe hinaufgeführt, und dann durch abermaliges rechtwinkliches Umbiegen in den Camin zurückgeführt werden. Ob Letzteres geſchehen ſolle oder nicht, hängt indeſs zugleich von der Stärke des Luftzuges im Camine ab, indem bekanntlich die Bewegung der Luft durch die rechtwinkliche Biegung ihres Canales leicht bis 0,2 von ihrer Geſchwindigkeit verliert, und es könnte daher die letztere ſo ſehr vermindert werden, daſs dadurch eine vollſtändige Verzehrung des Brennmaterials unmöglich würde. Der Ofen kann auf einen geeigneten Stein geſtellt werden, am vortheilhafteſten für ſeine Wirkung, um die Wärme der unteren Platte nicht zu verlieren und den Zutritt der kalten unteren Luftſchicht zu demſelben zu befördern, auf 4 Füſse von 3 bis 6 Z. Höhe. Bei der Conſtruction des Ofens iſt ferner angenommen, daſs derſelbe keinen Roſt habe, und ich geſtehe, daſs ich nach einigen Erfahrungen dieſes für zweckmäſsiger halte, weil die ſtark erhitzte Luft leicht einen ſo ſchnellen Zug annimmt, daſs ſie nicht vollſtändig zerſetzt werden kann, dadurch das Brennmaterial abkühlt, das Brennen hindert und die Wirkung der Oefen ſchwächt. Je heiſser dagegen die verglühenden Kohlen werden, um deſto gröſser wird ihre Affinität zum Sauerſtoffgaſe der atmoſphäriſchen Luft, die ſtärker erhitzte Luft entweicht ſchneller, und beide vereinte Urſachen bewirken der Erfahrung gemäſs einen ſtärkeren Effect der Heizung. Verlangt man aber dennoch einen Roſt, ſo kann die Bodenplatte des Ofens leicht mit einem ſolchen verſehen werden und der Ofen unten noch einen Aſchenkaſten mit freiem Luftzutritte von Auſsen erhalten.

Fig. 65. Der nämliche Ofen kann auch als Windofen conſtruirt werden; es iſt dann abermals A der Heizkaſten, BC die Säule, $\alpha\beta$ die Zunge, die Richtung der Pfeile aber zeigt den Strom der heiſsen Luft an. In dieſem Falle iſt es nichts weniger als unvortheilhaft, daſs die Flamme an der nämlichen Seite aufſteigt, an welcher geheizt wird, vielmehr muſs das Holz hier durch den friſchen Luftzug bald in Brand verſetzt werden, die hiernach entſtehende Flamme den in die Oeffnung aufſteigenden Rauch ergreifen, und entzünden, ſo daſs alſo der Ofen ohne künſtliche Conſtruction nach der Art des durch Thilorier angegebenen ein rauchverzehrender wird. Uebrigens gilt von einem

Digitized by Google

so construirten Windofen alles dasjenige, was so eben rücksichtlich der Verzierungen, der Anwendung von Füſsen oder einer Art von Sockel d d gesagt ist, wobei vielfache, das Wesen der Sache nicht unmittelbar treffende Veränderungen möglich sind. Auch die Dimensionen beider Arten von Oefen können gleich seyn, und richten sich theils nach der Gröſse der zu erwärmenden Räume, theils nach der Stärke des Wärmeverlustes derselben. Hat der Heizkasten 2 Fuſs Höhe bei 18 Z. Seite, die Säule 15 Z. Durchmesser und 3 F. Höhe, so wird der Ofen das gröſste Zimmer, wenn es nur kein Tanz- oder Concert-Saal ist, heizen können, vorausgesetzt, daſs die Wände und Fenster nicht allzu dünn und luftig sind, und die Kälte nicht wochenlang unter 25° C. hinabgeht. Von diesem Maximum kann man bis 18 Z. Höhe und 12 Z. Seite des Heizkastens und 18 Z. Höhe bei 10 Z. Durchmesser der Säule herabsteigen, um für kleine Zimmer dennoch die genügende Erwärmung zu erhalten.

20. Ein zweiter zunächst guſseiserner, und als Windofen Fig.
eingerichteter, ist nach dem Principe der sogenannten Herrnhu- 64.
ter-Oefen construirt, und kann auch aus Thon gemacht werden, wie denn die letzteren eigentlich nur einen eisernen Heizkasten haben oder auch diesen mit Kacheln umgeben. Den Zug der erhitzten Luft bis in den oberen Kasten C zeigt die Richtung der Pfeile. An der hinteren Seite des letzteren ist eine Oeffnung für das Rauchrohr angebracht, welches gleichfalls unmittelbar in den Camin zurückgeführt werden, oder zuvor durch rechtwinkliche Umbiegung eine Erhöhung erhalten kann, um die noch übrige Hitze des nicht völlig durch die Wandungen des Ofens abgekühlten Rauches zu benutzen; worüber das Nämliche gilt, was so eben unter Nr. 19. bemerkt ist. Die offenen Räume B,B dienen dazu, eine bedeutende Wärmeausstrahlung derjenigen Platten zu geben, unter und über welchen der heiſse Rauch hinstreicht. Auſserwesentlich ist die Platte d, welche als Fortsetzung der Bodenplatte unter der Thüre fortläuft, vorn abgerundet ist, und das Herausfallen der Kohlen aus der Oeffnung des Ofens hindert, wodurch das Legen eines Bleches vor dem Ofen zur Sicherung des Fuſsbodens überflüssig wird. Die Fig.
Seitenansicht des Ofens zeigt die Heizthüre und bei a a zwei 65.
runde Oeffnungen, welche zu den verschlossenen Räumen E und C führen, und dazu dienen, den hierin angesammelten Ruſs und die mechanisch fortgerissene, hier niedergefallene, Asche



Digitized by Google

herauszunehmen, obgleich die Menge der letzteren nach der Construction des Ofens nicht groſs seyn kann. Daſs sie gewöhnlich durch eingeklemmte Bleche verschlossen sind, versteht sich von selbst.

Soll der Ofen zur Caminheizung eingerichtet werden, so fällt die Zunge d weg, und wird dann ein geeigneter Hals angegossen oder von starkem Eisenbleche eingesetzt. Oft verstattet die Lage der Camine nicht, dem so eingerichteten Ofen diejenige Richtung gegen das Zimmer zu geben, welche für dasselbe erforderlich ist. In diesem Falle könnte der Hals an der breiten Seite des Ofens angebracht, und der Ofen so gestellt werden, daſs seine entgegengesetzte breite Seite gegen das Zimmer gerichtet wäre, wodurch indeſs die Heizung unbequemer und der Construction des Ofens nicht angemessen wird. Die Dimensionen des Ofens sind in der Zeichnung angegeben, und gelten für den Fall, wenn derselbe für ein groſses Zimmer bestimmt ist, indem letzteres schon von ungewöhnlicher Gröſse seyn, nämlich mindestens 3 Fenster an der längeren Seite haben müſste, wenn ein solcher eiserner Ofen bei anhaltender und starker Heizung nicht ausreichen sollte. Inzwischen können die angegebenen Dimensionen noch bis so weit vergröſsert werden, daſs die Höhe des Heizkastens 18 Z. Par. beträgt, die Breite 36 Z. und die Tiefe 18 Z., in welchem Verhältniſs dann die übrigen Dimensionen gleichfalls theils vergröſsert, theils die angegebenen beibehalten werden müſsten. Uebrigens gebe ich nach meiner Ansicht der Sache diesen Oefen rücksichtlich ihrer Heizungskraft, nicht aber hinsichtlich ihrer Schönheit den Vorzug vor allen andern, weil sie die nothwendigen Bedingungen einer guten Heizung am besten erfüllen, nämlich eine vollständige Verzehrung des Brennmaterials, einen hinlänglichen, jedoch durch die wiederholten Biegungen nicht übermäſsigen Luftzug, eine möglichst groſse Oberfläche zur Ausstrahlung der Wärme und einen hinlänglich langen Weg für die Flamme und heiſse Luft im Innern geben, um vor dem Entweichen in den Camin gehörig abgekühlt zu seyn.

21. Es sind oben Nr. 16. die Vorzüge der eisernen und der thönernen Oefen zusammsngestellt, und weil beide Arten deren eigenthümliche haben, so ist bei den eben beschriebenen Constructionen der Oefen darauf Rücksicht genommen, daſs sie aus beiden Substanzen verfertigt werden können, obgleich das

Digitized by Google

Guſseisen am besten für sie geeignet ist. Auf gleiche Weise ist erwähnt, daſs verschiedene Oefen in Vorschlag gebracht und wirklich ausgeführt sind, welche aus beiden Substanzen zugleich bestehen, um die Vorzüge beider zu vereinigen, namentlich die schnellere Erwärmung durch das Eisen und die längere Dauer derselben durch den Thon, und dieses wird wirklich erreicht, wenn man bei der so eben beschriebenen den Heizkasten von jenem, den Aufsatz aber von diesem verfertigen läſst, denn die umgekehrte Anordnung ist deswegen verwerflich, weil ein thönerner Heizkasten durch unvorsichtiges Hineinwerfen des Holzes zu leicht zerstört wird. Ohne dem Fehler eines zu complicirten Baues zu unterliegen, scheinen mir die *Feilner'schen Oefen* eine sehr groſse Menge von Vorzügen zu vereinigen, weswegen ich ihre Beschreibung als einer dritten sehr zweckmä- Fig.
ſsig eingerichteten Art hier folgen lasse[1]. Die beiden Zeichnun- 66. u.
gen stellen zwei verticale Durchschnitte desselben vor, und wer- 67.
den zum Verstehen seiner Einrichtung genügen. Der eiserne Heizkasten e ruhet auf einer Unterlage von gebrannten Steinen so, daſs der gröſste Theil der Bodenplatte, die beiden Seitenplatten und die vordere Platte unbedeckt, jedoch von einem thönernen, den unteren Theil des Ofens bildenden Mantel umgeben sind. In den hierdurch gebildeten Zwischenraum dringt die kalte Luft der unteren Schichten im Zimmer durch zwei an beiden Seiten unten angebrachte 3 Z. hohe und 8 Z. breite Oeffnungen, und entweicht erwärmt durch eine 21 Z. über den Boden des Zimmers erhabene messingne durchbrochene Verzierung. Aus dem eisernen Heizkasten ist die eiserne Röhre g von 6 Z. Durchmesser und 4 bis 6 Z. Höhe hinaufgeführt, um die Flamme, den heiſsen Rauch und die erhitzte Luft zur allmäligen Abkühlung in die verschiedenen Abtheilungen des zur Circulirung eingerichteten thönernen Obertheiles zu leiten. Die in diesen engen Cylinder spielende Flamme soll den durchgehenden Rauch entzünden, und somit eine vollständige Verbrennung des Heizmaterials bewirken. Auf die obere Platte des Heizkastens ff werden Mauerziegel gelegt, um eine blecherne Tafel zu tragen, welche mit einer kreisrunden, ausgeschnittenen Oeffnung den eisernen Cylinder umfaſst, und zugleich ringsum 1 Zoll von den

1 H. Weber in Verhandl. des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleiſses in Preuſsen. Jahrg. 1823.

inneren Wandungen des thönernen Ofens absteht. Durch diese Vorrichtung wird das Eisen mit den erdenen Theilen des Ofens in Verbindung gebracht, ohne daſs die ungleiche Ausdehnung beider Körper durch Wärme eine Zersprengung oder Zerreiſsung bewirkt. Zu diesem Ende wird auf das Blech eine mit den inneren Wandungen des thönernen Ofens dicht verbundene, von dem äuſseren Kranze des Cylinders aber 1 Z. abstehende Decke von flachen gebrannten Ziegeln gelegt, und die hierdurch um den Cylinder entstehende Vertiefung mit trockenem Sande ausgefüllt, damit die Ausdehnung des letzteren nicht nachtheilig werde. Die aus Mauerziegeln verfertigte Scheidewand i, welche indeſs von der einen breiteren Ofenwand bis in die Mitte fortgeführt wird, die andere Hälfte aber frei läſst, trägt die gleichfalls aus Mauersteinen verfertigte, und daher der Heftigkeit der aus dem Cylinder aufsteigenden Flamme widerstehende Decke k, welche gleichfalls nicht völlig den vierten Theil einer durch den Ofen gelegten horizontalen Ebene unbedeckt läſst, damit durch die so gebildete Oeffnung der heiſse Rauch in die übrigen Abtheilungen des Ofens aufsteigen, ihnen seine Wärme mittheilen und endlich aus dem mit einer Klappe verschlieſsbaren Rohre p in den Camin entweichen kann. Das Verhältniſs der Weite solcher 7 Z. Seite habenden Oeffnungen zu der Weite des ganzen Ofens ist nach der Zeichnung sowohl aus ihnen selbst, als auch aus der verticalen Linie ersichtlich, welche die Räume n, n ... und l, l ... trennt, und es verdient daher nur noch bemerkt zu werden, daſs die horizontalen Decken der folgenden Abtheilungen aus doppelten, vermittelst Lehm verbundenen, die verticalen Scheidewände aber aus solchen einfachen flachen Ziegeln verfertigt werden. Solche Oefen haben, wie aus dieser Beschreibung erhellet, ungemein viele Masse, erhalten daher, einmal erhitzt, die Wärme lange Zeit, und bedürfen nur einmal, oder bei strenger Kälte zweimal des Tags geheizt zu werden; dagegen dauert es aber nach absichtlich angestellten Versuchen zwei Stunden, bis sie das Zimmer auf das Maximum der Temperatur bringen.

22. Bei Weitem die schwierigste von den in Nr. 14. geforderten Untersuchungen betrifft die Gröſse der Oefen, wie schon daraus von selbst hervorgeht, daſs in der Regel bei dieser Frage nicht in Voraus bestimmt ist, wie oft, mit welchem und mit wie viel Brennmaterial geheizt werden soll, desgleichen

Digitized by Google

welches Material und welche Form man für die Oefen wählt. Die Erfahrung, wie zahlreiche Beispiele sie auch aufstellen könnte, giebt fast gar keine genaue Auskunft, denn die Oefen werden meistens nach bloſsem Gutdünken von den Empirikern gewählt, und wenn ein solcher dann mehr oder weniger als das Verlangte leistet, so liegt die Ursache hiervon in vielen Fällen nicht sowohl an der Gröſse des Ofens, als vielmehr an andern unbeachteten Bedingungen. Obgleich also völlig scharfe Bestimmungen hierüber nicht erwartet werden können, so hoffe ich doch durch die nachfolgenden Betrachtungen mindestens einen Weg aufzufinden, um genäherte zu erhalten.

Bei der Heizung eines Zimmers macht es einen groſsen Unterschied, ob die Luft in demselben und seine Wände, Fenster und Thüren vollständig erkaltet sind, oder ob sie noch einen Theil der früheren Erwärmung beibehalten haben, so daſs daher nur der zwischen den abwechselnden Heizungen erlittene und der fortdauernd durch Ableitung stattfindende Verlust ersetzt werden müssen. Für gewöhnliche Wohnzimmer findet in der Regel das Letztere statt, indeſs wird es gut seyn, auch das Erstere zu berücksichtigen. Nehmen wir also als Norm ein Zimmer von der in Nr. 11. beschriebenen Gröſse, und setzen in genähertem Werthe fest, daſs die Wände nur bis etwa zur Hälfte ihrer Dicke, wenn sie massiv sind, die zur Einschlieſsung der Zimmerwärme erforderliche Temperatur annehmen müssen, wodurch die Berechnung dann auch für die Wände der nicht massiven Zimmer paſst, berücksichtigen wir ferner, daſs ein solches Zimmer in 24 Stunden niemals vollständig erkaltet gefunden wird, mithin auch die Wärme während dieser Zeit die Wandungen nicht gänzlich zu durchdringen vermag, daſs es aber endlich etwa einer Stunde Zeit bedarf, um ein solches Zimmer gehörig zu erwärmen, eine Temperaturdifferenz von 25° C. angenommen, so erhalten wir folgende Gröſsen. Das angenommene Zimmer hat 1433 Quad. F. Wandfläche, Decken und Fuſsboden mit eingeschlossen, welche zu 1 F. Dicke angenommen eben so viele Cub. F. betragen, und da Fuſsböden und Decken selten diese Dicke haben, so können die Thüren und Fenster füglich vernachlässigt werden. Es wird ferner von der Wahrheit nicht sehr abweichen, wenn wir das spec. Gewicht dieser Substanzen gegen Wasser = 2 annehmen, und die specifische Wärmecapacität, obgleich etwas geringer, derjenigen

Digitized by Google

der Luft gleich setzen. Diesemnach geben die in 24 Stunden oder in einer Stunde um $\frac{1}{21}$ zu erwärmenden festen Massen für 1 Minute ein Aequivalent von $\frac{1433 \times 2}{0,001299 \times 60 \times 24} = 1532,2$ Cub. F. Luft. Hierzu kommt der Inhalt des Zimmers mit 4032 Cub. F., welches auf 1 Min. $\frac{4032}{60} = 67,2$ Cub. F. giebt, und endlich die in Nr. 10. beerechnete Abkühlung von 34,89 Cub. F., also zusammen 1634,3 Cub. F. Luft, welche um 25° C. erwärmt werden müſsten. Nach sehr genauen Bestimmungen[1] geben 5 Quad. F. Metallfläche in 1 Sec. 0,5 Cub. F. Dampf, wofür man aber, um vollkommen sicher zu seyn, 10 Quad. F. setzt welches dann in 1 Minute 30 Cub. F. Dampf giebt. Indem aber die Dichtigkeit des Dampfes gegen Luft bei gleicher Elasticität 5 : 8, die specif. Wärmecapacität beider gegen Wasser 0,8470 und 0,2669 ist, die latente Wärme des Dampfes aber 640° C. beträgt, so vermag ein Quadrat Fuſs geheizte Metallfläche $\frac{30 \times 640 \times 5 \times 0,8470}{10 \times 25 \times 8 \times 0,2669} = 152,3$ Cub. F. Luft um 25° C. zu erwärmen, wonach also ein für das angegebene Zimmer genügender eiserner Ofen $\frac{1634,3}{152,3} = 10,7$ Quad. F. Oberfläche haben müſste. Obgleich aber die Heizkraft der metallischen Oberflächen schon auf die Hälfte herabgesetzt zu diesem Resultate geführt hat, und die eisernen Dampfkessel von den eisernen Oefen nicht bedeutend abweichen, so muſs doch berücksichtigt werden, daſs das Feuer im Ofen die gesammte Fläche nicht auf gleiche Art umspielt, als dieses meistens bei den Dampfkesseln der Dampfmaschinen der Fall zu seyn pflegt, und wir werden daher bei Circuliröfen zu gröſserer Sicherheit gegen etwaige heftige Kälte und eine sonst mögliche, leicht unangenehme zu starke Heizung die doppelte Gröſse als die eben gefundene für ein Zimmer von den angegebenen Dimensionen anzunehmen haben, welches dann mit der gemeinen Erfahrung auch nahe genug übereinstimmt. Uebrigens versteht sich von selbst, daſs man die Oberfläche der Oefen um so mehr vergröſsern müsse, je mehr man die Circulation des Rauches vervielfältigt, wie es dann auch an sich klar ist, daſs man sich häufig genöthigt findet, ein ganz erkaltetes

---

1 S. *Dampfmaschine* Th. II. S. 464.

Zimmer 2 bis 3 Stunden vorher anhaltend zu heizen, wenn es eine behagliche Temperatur annehmen soll, und auſserdem kann die Heizung der eisernen Oefen namentlich durch lebhaften Luftzug, gutes und vieles Brennmaterial bei Nichtbeachtung des gröſseren Kostenaufwandes noch weiter getrieben werden, als die eines Dampfkessels, welches mit manchen Unbequemlichkeiten verbunden ist; aber auch die Möglichkeit gewährt, mit kleineren Oefen gröſsere Zimmer zu heizen. Daſs dieses aber vermittelst der eisernen Oefen sich allerdings erreichen lasse, davon habe ich mich durch die Erfahrung vollständig überzeugt, und ich glaube mit Sicherheit annehmen zu dürfen, daſs ein solcher Circulirofen oder Säulenofen von 10 bis 12 Quad. F. Oberfläche ein Zimmer von der angenommenen Dimension genügend zu heizen vermag.

Soll für irgend ein anderes Zimmer die Gröſse des erforderlichen Ofens bestimmt werden, so wäre es einfach, die Berechnung auf die angegebene Weise auch hierfür anzustellen, indeſs kann man durch folgende Betrachtung auf kürzerem Wege zu einem genäherten Resultate gelangen. Die Gröſse des Ofens wird hauptsächlich durch die Ausdehnung der Wände, der Decke und des Fuſsbodens bestimmt, wobei zugleich auch der Cubikinhalt der eingeschlossenen Luftmasse mit in dieser Bestimmung enthalten ist. Betrachten wir dann die Zimmer als ähnliche Körper (was zwar aus leicht begreiflichen Gründen nicht ganz richtig ist, in einigen Fällen aber zufällig genau zutreffen, für die bezweckte genäherte Bestimmung aber unbedenklich zugegeben werden kann), so verhalten sich bei diesen die Umfänge wie die Quadrate, die Inhalte wie die Cubi gleich liegender Seiten. Werden demnach diese Gröſsen durch U, u; I, i und S, s bezeichnet, so erhält man

$$U : u = S^2 : s^2, \text{ woraus } U = \frac{u S^2}{s^2};$$

$$\text{und } I : i = S^3 : s^3, \text{ woraus } I = \frac{i S^3}{s^3};$$

$$\text{aus beiden aber } U = u \left(\frac{I}{i}\right)^{\frac{2}{3}}.$$

Sieht man also den Umfang des gegebenen Zimmers und die hierfür berechnete Gröſse des Ofens als Einheit an, so darf nur für ein anderes Zimmer vom Inhalte = I der Werth von U aus log. $U = \frac{2}{3} \times (\log. I - \log. i)$ gesucht werden, um mit der

Digitized by Google

geſundenen Normalgröſse von 10,7 Q. F. multiplicirt die erforderliche Oberfläche des für ein solches Zimmer genügenden eisernen Ofens zu finden. Wäre z. B. der Inhalt eines Concertsaales = 97000 Cub. F., so ist

$$\begin{aligned}
\log.\ 97000 &= 4{,}9867717\\
\log.\ 4032 &= 3{,}6055205\\
\hline
\log. I - \log. i &= 1{,}3812512\\
\times 2 &= 2{,}7625024\\
: 3 &= 0{,}9208341 \text{ giebt } 8{,}3 = U
\end{aligned}$$

also wäre $8{,}3 \times 10{,}7 = 88{,}81$ Quad. F. Oberfläche das Minimum, welches ein Ofen halten müſste, um ein solches Zimmer zu erwärmen, und wenn man Circuliröfen wählte, so müſste diese Gröſse noch vermehrt werden, woraus folgt, daſs so geräumige Säle für die gewöhnliche Ofenheizung sich nicht eignen, weil sie durch übermäſsig groſse Oefen nothwendig entstellt werden müſsten.

23. Auf einem andern Wege kann man gleichfalls zur Beantwortung der vorliegenden Frage, jedoch mit geringerer Sicherheit und Bestimmtheit, gelangen, wenn man nämlich die Quantität des Brennmaterials berechnet, welche zur Erzeugung der erforderlichen Hitze verbrannt werden muſs, und hiernach die Gröſse des Ofens bestimmt, worin die Verbrennung geschehen soll. Es ist oben Nr. 1 gefunden, daſs 1 Pf. gutes trocknes Holz 80000 Cub. F. Luft um 1° C. zu erwärmen vermag. Die so erzeugte Wärme kann aber auf keine Weise vollständig benutzt werden, sondern geht zum Theil durch den Schornstein verloren. Nach Versuchen mit Daniell's Pyrometer[1] ist die Hitze eines gemeinen Steinkohlenfeuers = 493° R. und so läſst sich ohne merklichen Fehler die des Holzes = 400° R. oder 500° C. annehmen. Wird dann ferner angenommen, daſs der Rauch bei seinem Entweichen in den Schornstein noch 100° C. Wärme besitze, so geht hierdurch $\frac{1}{5}$ der erzeugten Hitze verloren, und bleiben somit nur 64000 Cub. F. Luft, welche um 1° C. erwärmt werden, oder $\frac{64000}{25} = 2560$ Cub. F. Luft, welche durch 1 Pf. Holz um 25° C. der Temperatur zunehmen. Dabei ist aber schwer zu bestimmen, wie lange Zeit das Holz zur Verbren-

---

1 Journ. of Sciences Nr. XXII. 309. Daraus in Bibl. univ. XVIII. 239.

Digitized by Google

nung gebrauche, und hierin eben liegt die Unsicherheit der gesuchten Bestimmung. Entschieden ist dabei, daſs die Consumtion des Holzes so viel schneller erfolgen wird, je höher die Hitze des Ofens durch stetes Nachlegen wird, indem die gebildeten Kohlen eine baldige Entzündung und Verzehrung des zugelegten Holzes bewirken. Um daher zu genäherten Werthen zu gelangen, wollen wir annehmen, daſs das Holz dann, wenn eine schnelle Erhitzung des ganz erkalteten Zimmers, wie im vorliegenden Falle, verlangt wird, 30 Minuten zu seiner Consumtion bedarf, wonach also in jeder Minute $\frac{2560}{30} = 85{,}34$ C. F. Luft durch 1 Pf. Holz um 25° seiner Temperatur erhöhet werden würden, und da nach Nr. 22 in derselben Zeit 1634,3 Cub. F. geliefert werden sollen, so müſste der Heizkasten des Ofens $\frac{1634{,}3}{85{,}34} = 19{,}15$ Pf. Holz aufzunehmen im Stande seyn. Rechnen wir dann ferner das Gewicht von einem Cubikfuſs Holz, um runde Zahlen zu erhalten, zu 38,3 Pf., und nehmen wir ferner an, daſs das gespaltene und im Ofen geschichtete Holz den vierfachen Raum seines Volumens einnehme, so erfordert der Heizkasten für die Aufnahme von 19,15 Pf. Holz einen Cubik-Inhalt von 2 Cub. F.; und wenn dann endlich bei demselben die doppelte Länge für die einfache Höhe angenommen wird, so müſste derselbe im Innern 2 F. Länge bei 1 F. Höhe und Tiefe haben. Dieses Resultat paſst zunächst auf die in Nr. 20 angegebene Construction des Ofens, und beweiset, daſs ein solcher von den dort angegebenen Dimensionen für ein Zimmer von der angenommenen Gröſse mehr als hinlänglich sey, was mit der Erfahrung völlig im Einklange ist. Soll die Berechnung auch auf die in Nr. 19 angegebene Construction unter Voraussetzung eines cubischen Heizkastens passen, so müſste seine Seite im Innern $= \sqrt[3]{2} = 1{,}26$ F. oder 15,12 Z. betragen. Dabei ist dann endlich noch das freie Spiel der Flamme zu berücksichtigen.

24. Die so eben mitgetheilten Gröſsenbestimmungen beziehen sich zunächst auf eiserne Oefen; inzwischen kann die letztere in sofern auch füglich auf Kachelöfen angewandt werden, als sie die Gröſse des Heizkastens angiebt, und es keinen groſsen Unterschied macht, ob die in demselben durch das Ver-

Digitized by Google

brennen des Holzes erzeugte Wärme in kürzerer Zeit durch die Wandungen des eisernen Ofens oder in längerer durch die des thönernen dem Zimmer mitgetheilt wird. Bei den thönernen Oefen bezweckt man indeſs hauptsächlich die Erzeugung einer anhaltenden, nicht strahlenden, mehr gleichmäſsigen Wärme, und ihre für ein gegebenes Zimmer erforderliche Gröſse kann daher nach einem ganz andern Principe, als dem bisher angewandten, bestimmt werden. Wagenmann[1], welcher auf allen Fall das Vertrauen eines sehr richtigen praktischen Blickes für sich hat, nimmt an, daſs 56 Quad. F. Oberfläche eines thönernen Ofens hinreichen, um in jeder Minute 96 Cub. F. Luft um 20° C. zu erwärmen, mithin 67 Q. F. um die nämliche Menge um 25° C. zu erhitzen, wonach für ein Zimmer von der oben angenommenen Normalgröſse in genähertem Werthe die Oberfläche des Ofens nicht geringer als $\frac{67 \times 35}{96} = 24{,}5$ Quad. F. seyn dürfte, weil bei der bestimmten Abkühlung von 34,89 Cub. F. in jeder Minute auf den Wärmeverlust durch geöffnete Thüren und Fenster keine Rücksicht genommen ist, und die Differenz der äuſsern und inneren Temperatur die angenommene Normalgröſse von 25° C. häufig übersteigt. Wagenmann befolgt noch ein anderes Princip zur Berechnung der erforderlichen Gröſse eines thönernen Ofens, welcher für ein gegebenes Zimmer eine genügende aber zugleich nicht unangenehm strahlende Wärme liefern soll, und es scheint mir wichtig genug, die Sache auch nach diesem zu untersuchen, wenn ich gleich in den Gröſsenbestimmungen der Elemente etwas abweichen muſs. Es läſst sich, wie schon oben bemerkt ist, nicht annehmen, daſs ein Zimmer während der Zeit, in welcher der Ofen nicht geheizt wird, namentlich während der Nacht, ganz erkalte, und dann in einer bestimmten Zeitfrist durch die Heizung des Ofens bis zu derjenigen Temperatur erwärmt werden müsse, bei welcher der fortdauernde Wärmeverlust anfängt, und anhaltend durch den Ofen ersetzt werden muſs; dagegen aber wird man eine etwas zu groſse, eben daher aber auch für etwas nachtheiligere Bedingungen genügende Bestimmung erhalten, wenn man verlangt, daſs ein Ofen nicht bloſs den oben berechneten anhaltenden Wärmeverlust der Zimmer durch Fenster, Thüren und

1 A. a. O. S. 16.

Wände jederzeit ersetze, sondern auch denjenigen nachzuholen vermöge, welcher während der unterbrochenen Heizung statt gefunden hat. Wenn man diesemnach annimmt, daſs ein thönerner Ofen zweimal binnen 24 Stunden geheizt werde, und dabei selbst nach Wagenmann von 100° C. bis 50° C. herabsinke, also im Mittel eine Temperatur von 75° C. habe, während die äuſsere Luft auf 25° C. als den Unterschied der im Zimmer und auſserhalb desselben stattfindenden Temperatur zu erwärmen ist, so läſst sich festsetzen, daſs der Ofen die für 24 Stunden erforderliche Wärme auf zweimalige Heizung vertheilt in seiner Masse enthalte. Es beträgt aber der Wärmeverlust binnen 24 Stunden nach Nr. 10 an Luft 50241,6 Cub. F. Wird dann ferner die specif. Wärmecapacität des Thones und der Luft als gleich, oder gröſserer Sicherheit wegen = 0,2090 : 0,2669 nach Nr. 16 angenommen, das spec. Gewicht derselben gegen Wasser = 2 und = 0,001299 gesetzt, so beträgt die für zweimalige Heizung binnen 24 Stunden erforderliche Thonmasse

$$\frac{50241,6 \times 25 \times 0,2669 \times 0,001299}{2 \times 75 \times 2 \times 0,2090} = 6,9454 \text{ Cub. F. oder in}$$

runder Zahl 7 Par. Cub. F., welche zu 140 Pf. angenommen 972,35 Pf. wiegen. Ein Ofen von dieser Gröſse würde also für ein Zimmer von den angegebenen Dimensionen, nämlich 18 F. Länge, 16 F. Tiefe und 14 F. Höhe genügen, und es läſst sich immerhin annehmen, daſs für eine nicht auſserordentlich bedeutende Differenz der Temperaturen ein solcher bei verhältniſsmäſsig stärkerer Heizung gleichfalls genügen werde. Hier ist nämlich das Maximum der Wärme, welches der Ofen erreicht, zu 100° C. angenommen; nach Tredgold[1] aber wirkt die Oberfläche eines geheizten eisernen oder thönernen Ofens erst dann unangenehm auf die Luft, wenn ihre Hitze über 150° C. hinausgeht, so daſs hiernach also ein Ofen ohne Nachtheil die Hälfte mehr zu leisten vermöchte, als angenommen ist. Verlangt man aber die Gröſse eines Ofens für ein anderes Zimmer von gröſserem oder geringerem Umfange, so müſste eigentlich die Berechnung ganz auf gleiche Weise angestellt werden, indeſs kann man vermittelst der in Nr. 22 gegebenen Formel mindestens zu einem genäherten Resultate gelangen.

25. Die letzte bei der Ofenheizung in Betrachtung kom-

---

1 Edinb. Phil. Journ. XXIV. 263.

Digitized by Google

mende Untersuchung betrifft die erforderliche Menge des Brennmaterials. Sie ist in sofern schwer zu beantworten, als nicht bloſs die Quantität desselben, sondern auch seine Güte und die Vollständigkeit seines Verbrennens in Betrachtung kommt; inzwischen wird man auf folgende Weise zu einer mindestens genäherten Bestimmung gelangen. In Nr. 23 ist gezeigt, daſs 1 Pf. gesundes, gut lufttrocknes Holz in einem zweckmäſsig construirten Ofen verbrannt 2560 Cub. F. Luft um 25° C. zu erhöhen vermöge. Indem aber nach der so eben aufgestellten Berechnung binnen 24 Stunden 50241,6 Cub. F. Luft um eben so viele Wärme abgekühlt werden, so würden $\frac{50241,6}{2560}$ oder nahe 20 Pf. Holz täglich erfordert werden, um ein gut geschlossenes Zimmer, den Verlust durch geöffnete Thüren und Fenster nicht mitgerechnet, bei der erforderlichen Temperatur zu erhalten, wenn dasselbe täglich geheizt würde, insofern die Abkühlung während der Nacht durch eine stärkere Heizung am Tage wieder compensirt werden muſs. Berücksichtigt man aber, daſs bei einem gewöhnlichen Wohnzimmer in der Regel wenigstens die eine der Thüren häufig geöffnet wird, und dadurch einen bedeutenden Wärmeverlust hervorbringt, so wird man sich von der Wahrheit nicht sehr entfernen, wenn man hierfür noch 5 Pf. mehr, also im Ganzen 25 Pf. rechnet[1]. Wird ein Zimmer mit einem Windofen geheizt, hat es auſserdem Bleifenster, rissige und schlecht schlieſsende Thüren und noch obendrein eine dünne Decke, so wird diese Menge um einen verhältniſsmäſsigen Theil vermehrt werden müssen, welcher im höchsten Falle bis zu einer gleichen Gröſse steigen kann, so daſs unter diesen Bedingungen wohl 50 Pf. täglich erfordert werden können, wobei es indeſs dennoch erforderlich ist, daſs der Ofen durch eine Klappe verschlossen werde, weil sonst die Gröſse der Abkühlung wegen der unbestimmbaren Stärke des Luftzuges, und somit auch die Menge des erforderlichen Brennmaterials gar nicht genau bestimmt werden kann. Ist ein Zimmer gänzlich abge-

---

1 Nach Wagenmann a. a. O. S. 10 bedarf ein Zimmer von 3888 rheinl. Cub. F. Inhalt 28 Pf. Brennholz in 24 Stunden. Berücksichtigt man die höhere Kälte im nördlichen Deutschland, so kommt diese Menge mit der für das mittlere und südliche im Texte angenommenen sehr genau überein.

Digitized by Google

kühlt, und soll es erst auf die mittlere Temperatur erwärmt werden, so sind nach Nr. 23 hierzu 19,15 Pf. Holz erforderlich, wovon aber derjenige Theil abzuziehen ist, welcher diese Quantität während des Verbrennens zum Ersatze des ununterbrochenen Wärmeverlustes beiträgt. Soll diese letztere Gröſse nicht gerechnet werden, so folgt aus den in Nr. 22 und 23 mitgetheilten Bestimmungen, daſs zum Erwärmen des Zimmers von den angenommenen Dimensionen $\frac{1532,2}{85,34} = 17,6$ Pf. Holz erforderlich sind, und diesemnach bedarf man zur Erheizung eines völlig erkalteten Zimmers am ersten Tage etwa $\frac{2}{3}$ der erforderlichen Holzmenge mehr, als an den übrigen Tagen, mithin im Ganzen 42 Pf, welches Resultat von den durch Erfahrung unmittelbar erhaltenen gewiſs nicht merklich abweicht. Sollen endlich aus der hier gefundenen Bestimmung diejenigen gesucht werden, welche man bei bedeutend stärkerer Kälte und für gröſsere Zimmer verlangt, so giebt rücksichtlich des Ersteren die Nr. 11 aufgestellte Formel für ein stets geheiztes Zimmer bei einem Temperaturunterschiede $= \Delta t$ die Menge des Holzes $= \left(\frac{\Delta t}{25°}\right)^2 \times 25$ Pf. und für ein ganz erkaltetes (minder richtig) $= \left(\frac{\Delta t}{25°}\right)^2 \times 42$ Pf.; rücksichtlich des Letzteren aber die in Nr. 22 aufgestellte für beide Fälle $\left(\frac{I}{i}\right)^{\frac{2}{3}} \times 25$ und $\left(\frac{I}{i}\right)^{\frac{2}{3}} \times 42$ Pf. in ziemlich genäherten Werthen. Hiernach würden also für ein Zimmer von 97000 Cub. F. Inhalt nahe 200 oder 336 Pf. Holz erforderlich seyn. Ist das spec. Gewicht des Holzes $= 0,6$ und das absolute Gewicht eines Par. Cub. Fuſs Wasser $= 70$ Pf. so beträgt jene erstere Quantität 4,76 die letztere 8 Cub. F. Holz, welche Bestimmungen man nach ohngefährer Schätzung der Erfahrung völlig angemessen finden wird.

26. Die so eben ausführlich beschriebene Ofenheizung hat insofern etwas wider sich, als einige Strahlung der Wärme vom Ofen aus nebst einer hiermit unausbleiblich verbundenen Ungleichheit in der Erwärmung der Zimmer auf keine Weise ganz vermieden werden kann. Ein zunächst vorliegendes Mittel hiergegen sind die Ofenschirme, welche die horizontalen Wärmestrahlen auffangen, dagegen aber ein Aufsteigen der erwärmten Luft um den Ofen und mittelbar eine stärkere Strömung in

den verschiedenen Luftschichten der Zimmer bewirken. Denkt man sich dann ferner den Ofen etwas tiefer, selbst bis unter den Fuſsboden hinabgesenkt und statt eines Schirmes mit einem Mantel so umgeben, daſs die erwärmte Luft sämtlich in die Höhe steigen muſs, so hat man das Element der Luftheizung. Die Ofenheizung hat auſserdem den Nachtheil, daſs bei stärkerem Feuer als zur Erhaltung einer gerade genügenden Erwärmung erfordert wird, der Ofen nicht sogleich abgekühlt werden kann, und man daher einen kalten Luftstrom in das Zimmer leiten muſs, um der Ueberheizung zu begegnen, welchem vermittelst der Luftheizung abgeholfen wird, wenn man die Eintrittsöffnung der warmen Luft so einrichtet, daſs sie sich augenblicklich verschlieſsen läſst. In dieser allgemeinen Darstellung liegen nicht bloſs die Elemente einer neuerdings so viel besprochenen Heizungs-Methode, sondern es folgen auch aus derselben die Bedingungen ihres Gelingens nebst der Ueberzeugung, daſs die dazu geeigneten Arten der Vorrichtung weder schwierig seyn, noch auch auf anderen als ganz bekannten physikalischen Principien beruhen können. Auſserdem liegt die Sache so nahe, und ist so unmittelbar mit der Ofenheizung verbunden, daſs eine ganz einfache bloſs rohe praktische Anwendung dieser Methode unfehlbar schon in den frühesten Zeiten stattfinden muſste. Wirklich findet man auch in vielen alten Gebäuden über den Oefen in den unteren Stockwerken Löcher in die Zimmerdecken eingeschnitten, um die warme Luft durch diese hindurchzuleiten, und höher liegende kleine Gemächer zu erwärmen. Künstlicher, zugleich aber auch zweckmäſsiger, werden diese Vorrichtungen, wenn man den Ofen absichtlich unter die Decke des Zimmers hinabsenkt, in einen eigens hierfür eingerichteten Heizraum stellt, und die warme Luft aus diesem den Zimmern zuführt. Auch solche Vorrichtungen sind indeſs sehr alt, und finden sich namentlich in den Gebäuden des Deutschordens in Preussen aus dem dreizehnten Jahrhundert[1] und im Rathhause zu Regensburg, wo Sturm[2] dieselbe sah und beschrieb. Will man noch höher hinaufgehen, so ist ent-

---

1 Das Schloſs der deutschen Ritter in Marienburg, von Büsching 1823.

2 Dessen deut. Ueb. des Vignola, Wolfenbüttel 1699. Beide Angaben entlehne ich aus Wagenmann a. a. O. S. 4.

Digitized by Google

schieden, daſs schon die Römer zu den Zeiten des Seneca aufhörten, nach uralter Sitte Kohlen in einer Pfanne in die Zimmer unmittelbar zu setzen, sondern in den Palästen unterirdische Gemächer auf diese Weise erwärmten und die warme Luft von da aus in die höheren Gemächer leiteten, wie namentlich in den Speisesälen des Heliogabalus geschah; auch fand man die hierzu bestimmten Canäle in einem zu Autun ausgegrabenen römischen Pallaste[1].

In den neuesten Zeiten wurde die Luftheizung vermuthlich zuerst in England wieder in Anwendung gebracht, indem namentlich Strutt dieselbe 1792 zu Belper in seiner Maschinenspinnerei einführte[2], und weil sie unter den geeigneten Umständen entschiedene Vortheile gewährt, so wandte man sie nicht bloſs in groſsen öffentlichen Räumen, z. B. im Royal Institution, sondern auch in Privatwohnungen an, fand sie aber nicht überall vortheilhaft, und lieſs sie daher an vielen Orten wieder eingehen. In Frankreich stellte Curandau eine Luftheizung in der Nast'schen Porzellanfabrik her[3], und es ist nicht zu bezweifeln, daſs auch andere die Erfindung nachahmten, in Deutschland aber, namentlich in Berlin, legten der Geh. Oberbaurath Schinkel und der Ofenfabricant Feilner 1817 eine Luftheizung mit besonderen Heizkammern im Pallaste des Prinzen Friedrich an[4]. Inzwischen wurde die Aufmerksamkeit des Publicums hauptsächlich im südlichen Deutschland auf diese vermeintlich neue Heizmethode durch Meissner geweckt, welcher dieselbe in einer eigenen Schrift[5] übermäſsig anpries. Ich selbst warnte in einer kurzen Anzeige[6] vor einem unbedingten Glauben an die versprochenen Vortheile dieser Heizungsart und einer hieraus folgenden schädlichen Anwendung unter nicht geeigneten Bedingungen, allein vielleicht fand die Schrift um so mehr Beifall[7], je weniger sie eigentlich wissenschaftlich ver-

1 Busch Geschichte d. Erfind. X. 82.

2 Sylvester the Philosophy of domestic economy. Nottingh. 1819.

3 Hermbstaedt Bülletin. V. 356.

4 Wagenmann a. a. O. S. 4.

5 Die Heizung mit erwärmter Luft. u. s. w. Wien 1822. 8.

6 Heidelb. Jahrb. d. Lit. 1823.

7 Die 2te vermehrte Auflage erschien Wien 1823, die 3te ebend. 1826 um das Vielfache vermehrt.

faſst ist, ihr Inhalt aber eine oft so zweckwidrige Anwendung, daſs es mitunter an das Unbegreifliche grenzt. Viele waren nämlich für die Sache, vermuthlich wegen des Reizes der vermeintlichen Neuheit, so eingenommen, daſs sie glaubten, ein gemeiner Ofen in eine Heizkammer eingeschlossen, müsse hierdurch geeignet werden Wunder zu thun, und das wahrhaft Unmögliche zu leisten. So sollten unter andern in einem mir bekannten Falle mehr als eine halbe Million Cubikfuſs Luft in einer Menge zerstreuter Zimmer durch nicht mehr als zwei Oefen geheizt werden, obgleich sich aus einer einfachen Berechnung nachweisen lieſs, daſs dann das verbrannte Holz mehr Wärme hätte erzeugen müssen, als es unter den günstigsten Umständen verbrannt überhaupt zu liefern vermag. Verschiedene miſslungene Versuche und getäuschte Erwartungen führten daher nach dem gewöhnlichen Gange der menschlichen Ansichten zum gänzlichen Miſstrauen, und viele sind gegenwärtig geneigt, die ganze Sache überhaupt als unbedingt zweckwidrig und sogar nachtheilig zu verwerfen. Nachtheilig war dabei noch der Umstand, daſs die Aufgabe, welche ihren Principien nach zunächst und unmittelbar in das Gebiet der Physik gehört, diesem entrissen wurde, indem manche Baumeister und selbst gemeine Ofenfabricanten die an sich so einfache Sache mit unnöthigen Künsteleien überluden, und wenn ihnen zufällig eine oder einige Einrichtungen gelungen waren, das Auſserwesentliche für wesentlich hielten, wobei der Schein unvermeidlich war, als sey das Problem auf gewisse Weise ein mysteriöses, zu dessen Kenntniſs man nur durch eigene Erfahrung und auf einem mühsamen Wege gelangen könne, ohne eines sicheren Erfolgs dennoch gewiſs zu seyn. Eben diese Unsicherheit bei einer Sache, welche von der einen Seite so unmäſsig gepriesen, von der andern wegen vielfachen und meistens mit groſsen Kosten verbundenen Miſslingens so sehr herabgesetzt wurde, führte in solchen Fällen, wo die Einrichtung einer Luftheizung wünschenswerth erschien, zu einer Menge vermeintlicher Verbesserungen bald der Oefen, bald der Heizkammern, der Canäle u. s. w., welche aber bei dem Mangel fester Grundprincipien meistens in kostspielige und den Effect störende Ueberladungen ausarteten. Sollen daher die physikalischen Lehrsätze nicht bloſs unfruchtbare Speculationen seyn, sondern mit ihrer ganzen Wichtigkeit in Anwendung treten, wovon unter andern namentlich H. Davy zwei glänzende Bei-

Digitized by Google

spiele in seinen Sicherheits-Lampen und den Protectoren der Schiffsbeschläge gegen das Rosten aufgestellt hat, so war es eben so zweckmäſsig als nützlich, daſs der Verein zur Beförderung des Gewerbfleiſses in Preuſsen das Problem der Luftheizung durch eine eigene aus Physikern, Chemikern und Bauverständigen zusammengesetzte Commission sowohl theoretisch als auch nach den Resultaten der gemachten Erfahrungen untersuchen lieſs, und den abgestatteten Bericht öffentlich bekannt machte[1]. Da man hierin alles Nöthige über den Gegenstand zusammengestellt findet, so folge ich demselben im Wesentlichen, mit Benutzung dessen, was Theorie und Erfahrung mir selbst an die Hand gegeben hat, ohne zugleich alle die überflüssigen oder schädlichen Vorrichtungen zu erwähnen, womit solche Anlagen von Unkundigen überladen sind.

27. Nach dem oben aufgestellten Hauptprincipe ist es im Wesentlichen nicht sehr verschieden, ob die Oefen im Zimmer stehen, und die durch sie erwärmte, mithin aufsteigende und durch hinzutretende kältere ersetzte Luft dem zu erwärmenden Raume unmittelbar mittheilen, oder in einen eigenen Heizraum eingeschlossen die umgebende Luft erwärmen, so daſs sie nach statischen Gesetzen durch eigene Canäle in die Zimmer strömt. Es bedarf daher für den Zweck der Luftheizung keiner eigenthümlichen Oefen, sondern die Construction derselben beruhet auf den nämlichen Bedingungen, als die der Zimmeröfen, und sie können daher auf gleiche Weise eingerichtet seyn, weswegen auch besondere Vorschriften hierfür ganz überflüſsig sind. Weil indeſs bei der Luftheizung die unangenehme Strahlung der eisernen Oefen wegfällt, die Heizkammern und Canäle aber von selbst Wärmebehälter zum Nachhalten der Wärme darbieten, so sind aus den in Nr. 16 angegebenen Gründen die guſseisernen Oefen vorzuziehen, weil Eisenblech bei anhaltender Heizung leicht verbrennt, und eine Beschädigung der Oefen gerade bei der Luftheizung mit groſsen Unannehmlichkeiten verbunden ist. Auf geschmackvolle Formen der Oefen zu sehen ist für diesen Zweck unnöthig, und somit scheint mir folgende Construction die vorzüglichste, weil sie ein hinreichend rasches und vollständiges Verbrennen des Brennmaterials befördert und zur

1 Die mehrerwähnte Schrift von Wagenmann: Ueber die Heizung mit erwärmter Luft. Berl. 1827. 48 S. gr. 4. mit 3 Ktf.

Mittheilung der hierdurch erzeugten Wärme an die umgebende Luft die gröſste Oberfläche darbietet. A ist der Heizkasten mit seinem am Ende eingemauerten und durch eine eiserne Thür a verschlossenen Halse. Wegen eines in diesen Oefen leicht entstehenden übermäſsigen Luftzuges muſs in der Mitte oder unten in der Thür a noch ein kleines Thürchen oder ein Schieber angebracht werden, um durch eine gröſsere oder kleinere Oeffnung die Menge der einströmenden Luft zu regiren. Die Bodenplatte des Heizkastens ruhet mit dem einen Ende in der Mauer des Camin's, mit der andern auf einem Fuſse von gebrannten Steinen k, etwa 6 Par. Z. von dem gleichfalls mit gebrannten Steinen, oder noch besser mit Flieſsen, gepflasterten Boden der Heizkammer abstehend. Im Uebrigen ist die Construction des Ofens aus der Zeichnung klar. Er besteht nämlich aus vier ähnlichen Kasten b, c, d, e, welche mit ihren Oeffnungen in die Nuten des unteren Kastens passen, und indem hierdurch der ganze Ofen bloſs horizontale Fugen bekommt, in welche sich das Eisen durch sein eigenes Gewicht fest eindrückt, so steht nicht zu befürchten, daſs der Rauch irgendwo durchdringt, eine Bedingung, worauf man genau achten muſs. Auſserdem begreift jeder Sachverständige leicht, daſs bei dem ganzen Ofen weder Schrauben noch Bänder erforderlich sind, welche den Preis erhöhen und wegen ungleicher Ausdehnung des ungleichen Eisens dem dichten Schlieſsen mehr nachtheilig als vortheilhaft sind, abgesehen davon, daſs sie die Stärke und Haltbarkeit des Ganzen vermindern. Zwischen den einzelnen Kasten bleiben die Räume $\beta$, $\gamma$, $\delta$, $\varepsilon$ für die freie Luftcirculation offen, $\alpha$, $\alpha$, $\alpha$ und $\alpha$ aber sind dünne guſseiserne Platten, welche zum Tragen der freien Enden der Kasten dienen; zum Herausnehmen der fortgerissenen Asche aber und zum Reinigen des Ofens werden an der freistehenden schmaleren Seite solche Oeffnungen angebracht, als bei dem in Nr. 20 beschriebenen Ofen. Der letzte Kasten e hat einen Hals f, welcher rund oder quadratisch seyn, und etwa 6 Z. Durchmesser oder 5 bis 6 Z. Seite haben kann, durch die Mauer des Camin's geht, und mit einer Klappe g vermittelst der Stange und des Ringes h verschlieſsbar seyn muſs. Auſser den angegebenen Dimensionen, aus denen die übrigen von selbst folgen, ist noch zu bemerken, daſs die Tiefe des Ofens zu 18 Z., der Hals desselben aber von quadratischem Queerschnitte angenommen wird. Ein solcher Ofen, auf

Digitized by Google

die Weise gegossen, wie die gemeinen Oefen, namentlich auf der Asbacher Hütte bei Kirn am Rhein gegossen werden, hält an Gewicht nicht unter 600 aber auch nicht über 1000 ℔ und kostet somit zur Stelle nach dortigen Preisen zwischen 40 bis 60 preuſs. Thaler. Findet man die Höhe, welche vom Boden an gerechnet höchstens 8 Par. F. betragen würde, zu groſs, so kann dieselbe dadurch vermindert werden, daſs man die oberen Theile des Ofens, mit Ausnahme des Heizkastens, niedriger macht, oder die Kasten c und d ganz wegläſst, und e unmittelbar auf b setzt, wobei dann der Rauch zwar nicht so vollständig abgekühlt wird, die Lufheizung aber bei minder günstigem Locale dennoch sehr gut möglich bleibt. Die hier angegebenen Dimensionen können nach Umständen höchstens um $\frac{1}{4}$ vermindert werden, eine Vergröſserung derselben ist aber durchaus nicht rathsam, weil sie den angegebenen Forderungen an einen guten Ofen nicht zusagen würde; verlangt man aber mehr als ein solcher Ofen zu leisten vermag, wie in vielen Fällen leicht der Fall seyn kann, so besteht ein einfaches Mittel darin, daſs man zwei oder mehrere Oefen in die Heizkammer stellt, bis man über den geforderten Effect gesichert ist, und ich wundere mich in der That, daſs ich die Angabe dieses so einfachen und in mancher Beziehung so zweckdienlichen Mittels noch nirgend gefunden habe. Sind die Dimensionen des Ofens, namentlich die Höhe des Heizkastens A, überhaupt kleiner, so muſs die Flamme an der hinteren Wand des Ofens, wie bei gewöhnlichen Circuliröfen, aufsteigen, und der Ofen erhält durch entgegengesetzte Circulation einen Kasten weniger, wie aus dem Anblicke der Zeichnung von selbst folgt.

Uebrigens wird die erforderliche Gröſse des einen oder der mehreren anzuwendenden Oefen leicht nach den in Nr. 22, 23 und 24 angegebenen Regeln gefunden, mit Rücksicht auf einige später zu erwähnende Eigenthümlichkeiten der Luftheizung. Alle anderweitigen vielfachen Vorschläge von einer Verbindung der Oefen mit Circuliröfen, Trommeln, Röhren, welche lothrecht oder noch zweckwidriger horizontal durch den Ofen gehend, die Circulation der Luft befördern sollen, von einem Röhrensysteme, welches mantelartig den Ofen, wie den von Strutt, umgiebt, um die Luft zur Berührung mit der Oberfläche des Metalles zu zwingen, übergehe ich mit Stillschweigen, weil sie,

wie in Whiston's geologiſcher Theorie geſchieht, gleichſam vorausſetzen, daſs das Naturgeſetz vom Aufſteigen der leichteren Lufttheilchen in den ſchwereren bei den Luftheizungsöfen aufgehoben ſeyn könne, und in ſo fern weſentlich nachtheilig ſind, als ſie theils die Bedingungen des ſchnellen Verbrennens der Brennmaterialien hindern, theils das oft ſo nöthige Hinzukommen zum Ofen unmöglich machen, und endlich die beabſichtigte freie Circulation der Luft mehr hindern als befördern. Wer ſich von den auſserordentlichen Wallungen der Luft, welche in einem Heizraume den Ofen umſpielt, durch den Augenſchein überzeugen will, der darf nur etwas Magneſia[1] aus einem Glaſe durch Flor gegen den Ofen pudern, um aus der Bewegung der fortgeriſſenen Theilchen die Luftſtrömungen zu erkennen.

28. Die *Heizkammern*, worin die Oefen ſtehen, ſollen nicht ſelbſt geheizt werden, vielmehr iſt die Wärme, welche ſie aufnehmen, und nach Auſsen zerſtreuen, ein von der Luftheizung unzertrennlicher Verluſt, ſondern ſie ſind bloſs dazu beſtimmt, die zu erwärmende Luft einzuſchlieſsen, bis ſie durch die Wärmecanäle entweicht, und die kalte von Auſsen an ihre Stelle tritt. Hieraus folgt von ſelbſt, daſs das Material derſelben ein ſchlechter Wärmeleiter ſeyn muſs, und ſo werden ſie am beſten von gebrannten Steinen verfertigt, inwendig und auswendig mit Kalk beworfen und verputzt. Man hat ganz zweckmäſsig vorgeſchlagen, ſie in der Art doppelt zu machen, daſs beide Wandungen durch eine Luftſchicht von etwa 6 Z. Dicke getrennt würden, weil die trockne Luft ein ſchlechter Wärmeleiter iſt; noch beſſer würde man dieſen Zweck erreichen, wenn man eine innere Heizkammer von verzinntem Eiſenbleche in einem Abſtande von etwa 6 Z. mit einer gemeinen Heizkammer aus gebrannten Steinen umgäbe, eine minder koſtbare Vorrichtung, als ſo manche unnöthige Künſteleien an den Oefen, und wobei die Dicke der äuſseren Heizkammer nicht über 12 Z. erfordern würde. Iſt die Heizkammer einfach, ſo wird ihre Dicke durch den Gebrauch der ganzen Heizung bedingt. Wenn dieſe nämlich für Kirchen, Theater, Concertſäle u. ſ. w. be-

1 Andere Subſtanzen, welche mit der Oberfläche der Oefen in Berührung gebracht, verbrennen, ſind zu dieſem Verſuche unbrauchbar.

Digitized by Google

ſtimmt iſt, ſo daſs ſie nur an einzelnen Tagen gebraucht wird und in den Zwiſchenzeiten völlig wieder erkaltet, ſo reicht eine Dicke von 12 Z. hin, weil dieſe in den wenigen Stunden der Heizung nicht völlig durchwärmt wird, vielweniger alſo eine bedeutende Menge Wärme nach Auſsen abzugeben im Stande iſt. Soll ſie dagegen dazu dienen, um ein oder mehrere Zimmer ſtets warm zu erhalten, ſo iſt eine Dicke von 18 Z. erforderlich und von 2 F. noch vortheilhafter, auch würde für dieſen Fall, vorzüglich in kälteren Gegenden, eine doppelte, oder die oben angegebene innere Umgebung der Heizkammer aus Weiſsbleich durch Verminderung des Holzaufwandes die gröſseren Koſten bald wieder erſetzen. Der Natur der Sache nach erfordert die Heizkammer oben eine ſolche Wölbung oder Verengerung, daſs die erhitzte Luft aus ihr leicht und ungehindert in den oder in die Wärmecanäle ſtrömen kann; und nachtheilig iſt es auf allen Fall, wenn die Oeffnungen der letzteren niedriger liegen, als die oberſte Höhe der Heizkammer, weil dann ganz oben eine Stagnation der heiſseſten Luftſchichten und ein ſteter Verluſt an Wärme durch die Decke eintritt.

Die Beſtimmung des Abſtandes der inneren Wandung der Heizkammer vom Ofen hängt von verſchiedenen, zum Theil einander entgegengeſetzten Bedingungen ab. Gerade die anſcheinend weſentlichſte, nämlich die hinlängliche Erwärmung der erforderlichen Luftmenge innerhalb derſelben, kommt bis zu einer gewiſſen Grenze gar nicht in Betrachtung. Es wird nämlich in der Folge gezeigt werden, daſs die Geſchwindigkeit der in den Wärmecanälen aufſteigenden Luft ihrer Temperatur direct proportional iſt. Befindet ſich daher wenig Luft in der engeren Heizkammer, ſo wird ſie ſtärker erwärmt werden, daher auch wegen ſchnellerer Strömung in kürzerer Zeit wechſeln und ſomit kürzere Zeit mit dem Ofen in Berührung bleiben, bis beide einander entgegengeſetzte Bedingungen in ein gewiſſes Gleichgewicht kommen. Hieraus folgt aber unmittelbar, daſs man bei der Luftheizung auf gleiche Weiſe als bei der Ofenheizung hauptſächlich nur dahin zu ſehen habe, daſs jederzeit eine hinlängliche Menge Luft bis auf die erforderliche Temperatur erwärmt werde. Auf der andern Seite wird die Wärmeſtrahlung des Ofens die innere Wandung der Heizkammer um ſo viel weniger treffen, folglich dieſe um ſo weniger Wärme nach Auſsen ableiten, je gröſser der Abſtand derſelben iſt, ja es lieſse ſich

Digitized by Google

kann kein Zweifel obwalten. Es wird nämlich in der Folge gezeigt werden, daſs die Geschwindigkeit der Luftströmung den Quadratwurzeln aus der Höhe der Leitungs-Canäle für die warme Luft direct proportional ist. Wird in der hierüber demnächst anzugebenden Formel die Höhe h = 0 gesetzt, so wird die Geschwindigkeit der Luftströmung gleichfalls = 0. Hieraus folgt schon von selbst, daſs die Heizkammer mit den zu erwärmenden Zimmern nicht in derselben horizontalen Ebene liegen darf, und obgleich bei der für den sogenannten Luftwechsel eingerichteten Luftheizung die gemeinschaftliche Wirkung des Canales, wodurch die zwar kalte, aber allezeit dennoch etwas erwärmte Luft aus den Zimmern in die Höhe geleitet wird, und desjenigen, welcher ihnen die erhitzte Luft zuführt, die Geschwindigkeit der Strömung bedingt, so läſst sich dennoch nachweisen, daſs unter geeigneten Umständen auf gleiche Weise eine der verlangten entgegengesetzte Strömung eintreten könnte, als dieses nicht selten bei den Schornsteinen der Fall ist. Angenommen nämlich, es würde eine an sich keinesweges geringe Luftströmung von 3 F. in 1 Sec. erzeugt, zugleich aber dränge in das Zimmer durch die individuelle Richtung des Windes ein an Umfang gleich starker Luftstrom von 4 F. Geschwindigkeit in derselben Zeit (eine nicht übertriebene Gröſse, da man für den kaum merklichen Wind 10 F. rechnet), so würde sich die erhitzte Luft offenbar mit 1 F. Geschwindigkeit rückwärts bewegen. Hierin liegt der einfache Grund der manchen so räthselhaft vorkommenden Erscheinung, daſs von zwei Zimmern, welche durch den nämlichen Heiz-Canal aus zwei Oeffnungen desselben erwärmt werden sollen, nur das eine warme Luft erhält, während in dem andern die kalte Luft in die Oeffnung einströmt. Die Heizkammern gehören also auf allen Fall unter das Niveau der zu heizenden Zimmer, und der eigentlich für sie geeignete Ort ist ein Souterrain, wenn gleich ihre eigene Höhe sowohl bei der Einrichtung für den Luftwechsel als auch für die Circulation auf allen Fall bei gehöriger und nicht absichtlich widersinniger Construction mindestens einige Strömung hervorbringen muſs.

30. Der Eintritt der kalten Luft in die Heizkammer kann auf eine gedoppelte Weise stattfinden, indem dieselbe entweder aus dem Freien zuströmt, oder aus den Zimmern wieder in die Heizkammer zurückgeleitet wird. Im ersteren Falle hat die Auf-

Digitized by Google

gabe gar keine Schwierigkeit. Es bedarf nämlich nur einer Oeffnung unten am Boden in der Heizkammer, deren Queerschnitt der Summe der Queerschnitte aller Ableitungs-Canäle für die warme Luft gleich ist, und zu welcher die äuſsere Luft entweder unmittelbar aus dem freien Raume oder aus einem sonstigen mit reiner Luft erfüllten Orte freien Zutritt hat. Fürchtet man eine Verunreinigung derselben, so kann man einen Canal von jener Oeffnung aus ins Freie führen, welcher aber etwas weiter, als jene Oeffnung seyn muſs, wenn er lang und hauptsächlich, wenn er gekrümmt ist, und daſs derselbe gegen Verunreinigung geschützt werde, versteht sich wohl von selbst. Alle übrige Künsteleien, namentlich Canäle mit Thürmen und Windfahnen als Luftfänge, sind überflüssig, mitunter nachtheilig. Soll die kältere Luft aus den Zimmern wieder in die Heizkammer zurückgeführt werden, so legt man hierfür einen Canal unmittelbar über dem Fuſsboden oder in demselben an, welcher bis an den Boden der Heizkammer herabgeht, und daselbst mündet. Die Weite desselben muſs der des Wärmecanals gleich seyn. Welche von diesen beiden Arten, deren erste man den *Luftwechsel*, die zweite dagegen die *Circulation* nennt, zu wählen sey, dieses wird durch die Bestimmung der zu heizenden Zimmer entschieden. Sind diese Trockenstuben, wozu die Luftheizung mit ganz überwiegendem Vortheile geeignet ist, so versteht sich von selbst, daſs die mit Dämpfen überfüllte Luft derselben nach Auſsen geleitet, der Heizkammer dagegen stets neue zugeführt werde. Eben dieses ist der Fall, wenn Krankenzimmer oder Fabriksäle auf diese Weise geheizt werden, in denen die verarbeiteten Materialien oder die groſse Zahl der vereinten Menschen eine stete Ventilation nothwendig machen. Bei Theatern, Tanz-, Concert-, Klubbsälen u. s. w., kann die mit der Ausdünstung so vieler Menschen überfüllte Luft nicht füglich dem heiſsen Ofen wieder zugeführt werden; weil aber solche Räume in der Regel früher erwärmt werden müssen, als sie mit Menschen angefüllt sind, so ist es rathsam, beide Einrichtungen zu vereinigen, und anfangs die kalte Luft der Zimmer wieder in die Heizkammer zurückzuführen, nach der Anfüllung mit Menschen aber den hierfür bestimmten Canal zu schlieſsen, und denjenigen zu öffnen, welcher die Luft aus dem Zimmer abzuführen bestimmt ist. Eine zweckmäſsig eingerichtete Luftheizung wird zwar nicht leicht ohne den erwarteten

Digitized by Google

Effect seyn; soll aber die Sicherheit des letzteren in Beziehung auf die vorliegende Frage bestimmt werden, so ist es allerdings denkbar, daſs auf gleiche Weise, als bei manchen Schornsteinen, in dem Ableitungscanale der Luft aus dem Zimmer etwa auf die Gänge der Gebäude oder auf den Speicher, oder endlich auch ins Freie ein so starker herabgehender Luftstrom entstände, als nöthig wäre, um die kalte Luft mit gleicher Geschwindigkeit in das Zimmer herabzudrücken, als womit sie im Wärmecanale aufsteigt, und dadurch die Wirkung des letzteren aufzuheben oder sogar umzukehren, in welchem Falle dann die Einrichtung der Circulation sicherer seyn würde. Weil aber die Luft im Ableitungscanale auf allen Fall wärmer als die äuſsere ist, sie daher nach physikalischen Gesetzen schon an sich eine gewisse Steigkraft erhält und diese noch obendrein durch diejenige vermehrt wird, welche der Wärmecanal erzeugt, so ist für eine beträchtliche Höhe beider der angegebene Fall fast unmöglich; mindestens aber höchst unwahrscheinlich. Wenn auf der andern Seite der Ableitungscanal für die kalte Luft in die Heizkammer zurückgeführt ist, der Boden der letzteren sehr warm wird, die Höhen beider Canäle, des für die warme Luft und des für die kalte bestimmten, einander gleich sind, so läſst sich denken, daſs bei anfangender Heizung in beiden etwas kalte Luft niedersinkt und wenig warme aufsteigt, allmälig aber beide in ein Gleichgewicht kommen, vermöge dessen aus der verschlossenen Heizkammer keine Luft aufsteigen kann, weil sonst ein Vacuum in ihr entstehen müſste. Aber auch diese Möglichkeit beruhet auf einer so groſsen Menge von Zufälligkeiten, daſs sie mindestens höchst unwahrscheinlich wird; indeſs scheint mir so viel gewiſs, daſs eine schnellere Strömung dann entsteht, wenn die kalte Luft durch eigene Abzugscanäle aus den Zimmern in höhere Räume oder ins Freie geleitet wird, als wenn man sie in die Heizkammer zurückführt, wobei in beiden Fällen die Abzugs-Canäle vom Fuſsboden ausgehen müssen[1].

---

1 Mir ist von einem glaubhaften Augenzeugen erzählt, daſs eine Luftheizung, bei welcher die kalte Luft wieder in die Heizkammer zurückgeführt wurde, den erwarteten Effect nicht hervorbrachte, bis man einen Abzugs-Canal der kalten Luft ins Freie anlegte, worauf die verlangte Wärme erhalten wurde. Indeſs ist mir weder die Thatsache, noch die invidvelle Construction so genau bekannt, daſs ich ein Urtheil darauf gründen könnte.

Digitized by Google

Aus einer Rücksicht ist indeſs, die übrigen bereits angegebenen Bedingungen gleich gesetzt, diejenige Einrichtung vorzuziehen, nach welcher die kalte Luft aus den Zimmern in die Heizkammer zurückgeführt wird, und zwar aus der ökonomischen. Es leuchtet nämlich schon an sich ein, daſs nicht bloſs kalte, sondern eine allmälig zunehmend stärker erwärmte Luft durch die Abzugs-Canäle aus den Zimmern geleitet wird, wenn gleich am Fuſsboden derselben eine verhältniſsmäſsig kalte Schicht vorhanden seyn mag, und daſs somit diejenige Wärme ganz verloren wird, welche dieser Schicht bereits mitgetheilt ist, es sey denn, daſs man diese etwas erwärmte Luft für höher liegende Räume, als Gänge, Kammern u. s. w. benutzen wollte. Indeſs hat Wagenmann[1] durch eine genaue Berechnung selbst das Verhältniſs aufgestellt, in welchem die Heizung mit Abzugs-Canälen ins Freie einen gröſseren Aufwand an Brennmaterial erfordert als mit solchen, welche die kalte Luft der Zimmer wieder in die Heizkammer zurückführen. Ist nämlich die erforderliche Menge erwärmter Luft = a die demnach in der nämlichen Zeit aus dem Wärmecanale zuströmende = x; der Unterschied der äuſseren und der Zimmertemperatur = t, die Wärme der zuflieſsenden Luft = t'; die der abflieſsenden = t'', so ist

$$x t' = a t + x t''; \text{ also } x = \frac{a t}{t' - t''}$$

woraus die erforderliche Menge Luft, welche in der gegebenen Zeit um t Grade erwärmt werden muſs, damit das Zimmer seine mittlere Temperatur beibehalte

$$\frac{t'}{t} x = \frac{t'}{t' - t''} a$$

gefunden wird. Diesemnach verhält sich die erforderliche Menge der zu erwärmenden Luft bei der Circulation zu der beim Luftwechsel wie $a : \frac{t'}{t' - t''} a$ oder wie $1 : \frac{t'}{t' - t''} = 1 : 1 + \frac{t''}{t' - t''}$, worin das letzte Glied den allezeit stattfindenden Mehrbedarf der Wärmeerzeugung beim Luftwechsel ausdrückt. Hieraus folgt, daſs der Luftwechsel allezeit einen Wärmeverlust herbeiführt, welcher so viel gröſser ist, je höher die Temperatur der abgeleiteten Luft steigt und je geringer der Unterschied der Temperaturen dieser und der zugeführten wird. Wäre nämlich t' = t'',

1 A. a. O.

oder die Temperatur der abgeleiteten Luft derjenigen der zugeführten gleich, so würde $\frac{t''}{t'-t''} = \infty$ seyn, d. h. es würde alle zugeführte Wärme auch wieder abgeleitet, und könnte durch eine unendliche Wärmeproduction keine Erhöhung der Temperatur erzeugt werden [1]. Wird dagegen $t'' = \frac{1}{2}t'$, so ist $\frac{t''}{t'-t''} = 1$ und es verhält sich der Holzaufwand bei der Circulation zu dem beim Luftwechsel wie 1 : 2. Es liegt in der Natur der Sache, daſs die Luft aus dem Wärmecanale so viel wärmer seyn müsse, je gröſser der Unterschied der mittleren Temperatur des Zimmers und der äuſseren Luft ist, und so kann es ziemlich als Regel angenommen werden, daſs die Temperatur des Zimmers das arithmetische Mittel zwischen der äuſseren und der zuströmenden warmen sey, in welchem Falle $t = \frac{t'}{2}$, und das Verhältniſs des Brennmaterials $= 1 : \frac{2t}{2t-t''} = 1 : 1 + \frac{t''}{2t-t''}$ ist. Der im letzten Gliede ausgedrückte Mehrbedarf kann nie $= 1$ werden, weil $t''$ allezeit kleiner ist als t, und somit kann in der Wirklichkeit der Verbrauch des Brennmaterials beim Luftwechsel nie das Doppelte von demjenigen betragen, welchen die Circulation erfordert. Um endlich ein Beispiel in Zahlen aufzunehmen, sey die äuſsere Temperatur $-10°$ C.; die der unteren Luftschichten des Zimmers $= 14°$ C. die mittlere des Zimmers $= 18°$ C. und der zuströmenden Luft $= 40°$ C., so ist also $t = 28°$ C.; $t' = 40°$ C.; $t'' = 14°$ C., mithin $\frac{t''}{t'-t''} = \frac{14}{40-14} = \frac{14}{26}$ und das Verhältniſs der Holzconsumtion zwischen beiden Einrichtungen $= 13 : 20$ wobei also der Luftwechsel etwas über die Hälfte oder $\frac{7}{13}$ mehr Brennmaterial erfordern würde, als die Circulation.

31. Die Canäle, welche die warme Luft aus der Heizkam-

---

1 Diesem anscheinend paradoxen Satze steht ein anderer noch paradoxerer zur Seite. Wäre nämlich $t'' > t'$, so würde $\frac{t''}{t'-t''}$ negativ, und der Luftwechsel weniger Brennmaterial erfordern, als die Circulation. In diesem Falle aber müſste derselbe eine eigenthümliche Wärmequelle in sich selbst haben, und das Resultat der Formel wäre allerdings gerechtfertigt.

Digitized by Google

mer in die Zimmer führen, und wegen schnellerer Strömung meistens etwas enger gemacht werden als die Ableitungs-Canäle für die kalte, bieten im Ganzen nur geringe Schwierigkeiten dar, erfordern jedoch eine der richtigen Theorie angemessene Construction. Wird in massiven Häusern die Luftheizung zugleich mit der Erbauung eingerichtet, so ist das Einfachste, sie in dem Innern der Seitenwände sogleich hinaufzuführen, vorausgesetzt, daſs sie mit den Thüröffnungen nicht in Collision kommen. Die Tragbalken, deren Nähe Wagenmann wegen Feuersgefahr fürchtet, kommen weniger in Betrachtung, weil man ihnen leicht ausweichen kann, und ein Entzünden derselben durch die Luft (wenn kein stark aufloderndes Feuer in der Heizkammer selbst ausbricht) unmöglich ist. Hierzu wäre nämlich eine Hitze von mehr als 250° C. erforderlich, welche in keinem Canale entstehen kann, da die Geschwindigkeit der Luftströmung ihrer Temperatur direct proportional ist, und die Luft daher zu schnell wechseln würde, als daſs sie diese Hitze annehmen könnte. In dem angenommenen Falle also werden die Canäle sogleich bei der Aufführung der Mauern hergestellt, und inwendig glatt mit Mörtel oder noch besser mit Gyps verputzt, weil die Bewegung der Luft in Canälen so viel leichter von Statten geht, je glattere Flächen diese haben. Wird eine Luftheizung in einem schon fertigen oder einem nicht massiven Hause eingerichtet, so liegt es in der Natur der Sache, daſs der Anfang des Leitungs-Canals von der Heizkammer aus, und gleichsam als Fortsetzung derselben aus gebrannten Steinen gemauert sey, die Fortsetzung desselben kann aber dann aus thönernen Röhren, aus blechenen (insbesondere von dem wenig Wärme strahlenden Weiſsblech) und selbst aus hölzernen bestehen, welche letztere aber einen Ueberzug von Leinen, darüber von Papier, auch wohl einen Verputz und einen Anstrich erhalten müssen, um fortdauernd luftdicht zu seyn; vorzugsweise möchte ich die letzteren indeſs nicht empfehlen. Um durch die Canäle nicht zu viele Wärme zu verlieren, räth Wagenmann sie zunächst mit einer Luftschicht und dann mit einer Mauer zu umgeben, ein nicht verwerflicher Vorschlag, wenn die Localität es erlaubt und die Zimmer dadurch nicht entstellt werden.

Die Weite der Canäle kann theoretisch sehr scharf bestimmt werden, wenn man berücksichtigt, daſs die Luft in ihnen mit einer gewissen geforderten Geschwindigkeit aufsteigen soll. Nach

Digitized by Google

ſtatiſchen Geſetzen fällt eine Säule irgend einer Flüſſigkeit den Quadratwurzeln aus ihrer Höhe proportional, und wenn daher als Zeiteinheit eine Sexageſimalſecunde angenommen, der lothrechte Fallraum in derſelben g, die Höhe der herabfallenden Säule aber h genannt wird, ſo iſt die Fallgeſchwindigkeit in Paris. Fuſs in einer Secunde [1]

$$c = \sqrt{4gh} \ldots\ldots (1)$$

Die Luftſäule fällt oder ſteigt aber nicht mit ihrem ganzen Gewichte, ſondern bloſs mit ihrem relativen, und die gegebene Formel muſs daher mit dem hieraus erhaltenen Factor multiplicirt werden. Heiſst daher in Graden des hunderttheiligen Thermometers die Temperatur der Luft, in welcher die gegebene Luftſäule herabfallen ſoll $= t$, ihre eigene Temperatur $= t'$ der Unterſchied $t - t' = t''$, ſo iſt dieſemnach ihre Fall-Geſchwindigkeit in einer Secunde $= t'' \sqrt{4gh}$. Iſt dann $t'$ kleiner als $t$, mithin die betrachtete Luftſäule ſchwerer, ſo wird die Geſchwindigkeit ihres Falles unmittelbar gegeben. Iſt umgekehrt $t'$ gröſser als $t$, oder iſt die gegebene Luftſäule die wärmere, ſo wird das Reſultat der Formel gleich groſs, aber negativ, d. h. die wärmere Luftſäule wird mit der nämlichen Geſchwindigkeit aufſteigen, mit welcher die kältere herabſinkt. Das gröſsere oder geringere Gewicht der Luftſäule (ihr relatives Gewicht, womit ſie herabſinkt oder aufſteigt) wird aber nicht durch die Temperatur unmittelbar gegeben, ſondern durch die Zuſammenziehung oder Ausdehnung, welche ſie durch dieſelbe erleidet, und da dieſe Gröſse eine durch Erfahrung genau beſtimmte iſt, ſo ergiebt dieſes von ſelbſt den erforderlichen Factor = 0,00375 für 1° C. und es iſt alſo

$$c = 0{,}00375\, t'' \sqrt{4gh} \ldots\ldots (2)$$

So wie aber endlich ein aufſteigender Waſſerſtrahl, z. B. bei einer Fontaine, nicht die volle Höhe erreicht, welche er den Geſetzen nach erreichen müſste, weil bei ſeiner Bewegung ein vielfacher Widerſtand zu überwinden iſt, ſo wird auch die Luftſäule nicht die ganze aus der Formel folgende Geſchwindigkeit erhalten, weil ſie hieran durch die Trägheit der Maſſe, den Gegendruck der aus der Stelle zu treibenden Luft, die Adhäſion an den Wänden der Canäle u. ſ. w. gehindert wird.

---

1 Dieſe allgemein bekannte Formel bedarf keines Beweiſes. Vergl. *Fall.* Th. IV. S. 6.

Digitized by Google

G. G. Schmidt[1] hat durch sinnreiche Versuche denjenigen Factor aufgefunden, welcher aus diesen Hindernissen der Bewegung hervorgeht, indem er die Geschwindigkeit der in einer blechenen Röhre aufsteigenden erhitzten Luft vermittelst der Zahl der Umdrehungen eines kleinen Flugrädchens in einer gemessenen Zeit bestimmte, und ihn $=0{,}43$ fand. Dieser ist zwar geringer, als andere ihn gefunden haben, allein bei der Genauigkeit der Versuche und der Uebereinstimmung ihrer gesammten Resultate wage ich denselben nicht um mehr als 0,07 zu erhöhen, so daſs also in runder Zahl 1,5 herauskommt. Hiernach ist also

$$c = 0{,}5 \times 0{,}00375\, t'' \sqrt{4 g h} \ldots\ldots (3)$$

und wenn g zu 15 Par. F. angenommen wird, für 1 Secunde: $c = 0{,}014523\, t'' \sqrt{h}$ für 1 Minute: $c = 0{,}87142\, t'' \sqrt{h}$. Es verhält sich also die Geschwindigkeit der Luftströmung in den Wärmecanälen directe wie die Differenz der Temperaturen in die Quadratwurzeln aus den Höhen. Hat man hiernach die Geschwindigkeit der Strömung gefunden, so darf man diese nur mit dem Querschnitte des Canales multipliciren, um die Quantität der in einer gegebenen Zeit in das Zimmer strömenden Luft in Cub. Fuſsen zu erhalten. In der Regel ist der Cubik-Inhalt der in 1 Min. erforderlichen Quantität Luft bekannt, und man darf auch annehmen, daſs die Höhe des Canales und die Temperatur der Luft in demselben bekannt sey, und dann läſst sich aus diesen Gröſsen der Querschnitt des Canales finden. Heiſst der letztere in Quadratfuſs $= q$; die Quantität der in 1 Minute erforderlichen Luftmenge $= m$, so ist

$$q = \frac{m}{0{,}87142\, t''} \sqrt{h} \ldots\ldots (4)$$

woraus sich ergiebt, daſs der Querschnitt des Canales so viel gröſser seyn muſs, je geringer seine Höhe und die Wärme der in ihm strömenden Luft ist.

In Beziehung auf eine für die Praxis geeignete genäherte Angabe der Dimension des Canales für die warme Luft kommt aber noch folgendes in Betrachtung. Sobald der Ofen die geeignete Construction und die erforderliche Gröſse hat, um die nöthige Quantität Wärme zu erzeugen, und es übrigens nicht gerade nothwendig ist, daſs die Temperatur der Luft im Wärmecanale unter einer gewissen Gröſse bleibe, so kommt die Weite

1 Hand- und Lehrbuch der Naturlehre. Gieſs. 1826. S. 216.

des letzteren weniger in Betrachtung, weil die Geschwindigkeit der Strömung der Temperatur direct proportional ist, die in einem engeren Canale strömende geringere Luftmenge aber eine soviel längere Zeit in der Heizkammer verweilt, dadurch soviel mehr Wärme annimmt und somit eine schnellere Strömung erhält. Die Hauptsache bei der Luftheizung, wie bei der Ofenheizung, bleibt daher immer die Erzeugung der erforderlichen Quantität Wärme in der Heizkammer, und deswegen ist oben die Gröſse der Oefen so angenommen, daſs sie hierzu mehr als vollständig ausreicht. Ferner aber macht es einen groſsen Unterschied, ob die Luftheizung für die Circulation oder den Luftwechsel eingerichtet ist. Im ersteren Falle nämlich ist die erhitzte Luft als eine wärmere Luftsäule anzusehen, welche in der minder warmen des Zimmers aufsteigt, wonach also t″ der Differenz beider Temperaturen gleich ist. Sollte die Geschwindigkeit der Bewegung dann genau bestimmt werden, so wäre es erforderlich auch den Einfluſs zu berechnen, welchen das Herabsinken der kälteren Luft in die Heizkammer erzeugt. Weil aber die herabsinkende Luftsäule auf allen Fall nicht für sich zu einer gleich geschwinden Bewegung, als die aufsteigende sollicitirt wird, dennoch aber nothwendig mit gleicher Geschwindigkeit herabsinken muſs, weil sonst ein Vacuum in der Heizkammer und eine Ueberfüllung in den Zimmern entstehen würde, so folgt, aus diesem Gesichtspuncte die Sache betrachtet, hieraus vielmehr eine Verzögerung der Geschwindigkeit, womit die Luft in dem Wärmecanale aufsteigt. Inzwischen war ein gleiches Herabsinken auch bei denjenigen Versuchen erforderlich, wodurch G. G. Schmidt den oben aufgenommenen Coefficienten gefunden hat, und es läſst sich sonach leicht erklären, warum derselbe geringer als 0,5 gefunden wurde, indem die aufsteigende Luftsäule durch ihre Steigkraft eine ihr gleiche zum Herabsinken vermögen muſste. Bei der Luftheizung durch Circulation sinkt die kalte Luftsäule mindestens mit einiger eigenthümlichen Kraft herab, und wenn man daher den oben angenommenen Coefficienten = 0,5 beibehält, so wird auf allen Fall die berechnete Geschwindigkeit nicht zu groſs gefunden werden, welches für die Praxis allezeit das sicherste ist. Ganz anders verhält sich die Sache dagegen im Falle des Luftwechsels. Hierbei ist, mit Rücksicht auf die Unterbrechung durch das Zimmer, die erwärmte Luftsäule

Digitized by Google

im Zufluſs-Canale und die etwas kältere, welche im Abzugs-Canale aufsteigt, als eine einzige zu betrachten, welche bis zur mittleren Temperatur beider erwärmt, wie durch eine communicirende Röhre mit der kälteren äuſseren Luft verbunden, in dieser aufzusteigen sollicitirt wird. Eine genaue Bestimmung würde also erfordern, nicht bloſs die Geschwindigkeit der Bewegung zu berechnen, welche die Luftsäule im Wärmecanale durch die Differenz ihrer Wärme und die der äuſseren Luft, desgleichen durch die Höhe des Canals erhält, sondern hierzu auch diejenige zu addiren, welche die Höhe des Abzugs-Canals und der Temperaturunterschied der in ihm eingeschlossenen und der äuſseren erzeugt. Auf allen Fall folgt hieraus, daſs man vermittelst des Luftwechsels ungleich schneller eine höhere Temperatur in einem Zimmer hervorbringen könne, als durch die Circulation, aber mit gröſserem Aufwande von Brennmaterial. Es kommen hierbei indeſs zwei Bedingungen in Betrachtung, welche eine genaue Berechnung ungemein erschweren. Zuerst beruhen nämlich die Elemente der Berechnung überhaupt auf der Voraussetzung, daſs die äuſsere Luft im Zustande der Ruhe sey, indem bei der überwiegenden Menge der äuſsern Luft die durch Zuströmung zur Heizkammer weggenommene nicht in Betrachtung kommen kann. Allein die äuſsere Luft ist nie völlig ruhig, und ihre Bewegung kann daher, selbst bei lothrechten Canälen, die Geschwindigkeit der Luftströmung in denselben bedeutend vermehren oder vermindern. Indeſs ist es der Natur der Sache nach unmöglich, diese Gröſse im Allgemeinen mit in die Berechnung aufzunehmen, da selbst in einem gegebenen speciellen Falle kaum denkbar ist, auf welche Weise alle einzelne Bedingungen genau bestimmbar seyn sollten. Zweitens ist beim Anfange der Heizung die Luft im Zimmer kalt, und die Wirkung des Abzugs-Canals also nicht bloſs $= 0$, sondern sogar negativ, weil die Trägheit der in demselben befindlichen Luftsäule durch den Andrang der im Wärmecanale aufsteigenden überwunden werden muſs. Da das kalte Zimmer als leer von Menschen und die Luft in ihm als ruhig anzunehmen ist, so wird die warme Luft emporsteigen, die Decke nebst den Wänden von oben herab erwärmen, allmälig sich den unteren Schichten mittheilen, wonach dann die Wirkung des Abzugs-Canals aus dem Negativen durch 0 ins Positive übergehen muſs. So wie hierdurch die Geschwindigkeit der Strömung wächst,



Digitized by Google

nimmt zugleich die Zeitdauer ab, während welcher die Luft in der Heizkammer mit den Wänden des Ofens in Berührung bleibt, sie wird daher weniger erwärmt werden und an Steigkraft verlieren müssen, bis beide entgegengesetzte Bedingungen mit einander ins Gleichgewicht kommen. Sobald dieser Zustand eingetreten ist, also von dem Augenblicke an, daſs das Zimmer bleibend bei einer mittleren Temperatur erhalten werden soll, geht durch den Ableitungs-Canal ein gleicher Theil Luft von der niedrigsten Temperatur der im Zimmer vorhandenen wieder verloren, als an heiſser zuströmt. Insofern also die Geschwindigkeit der Strömung der Temperaturunterschiede der im Wärmecanale aufsteigenden Luft und der äuſseren direct proportional ist, der verlangte Effect der Zimmerheizung aber auf gleiche Weise durch eine höhere Temperatur als durch eine gröſsere Geschwindigkeit der zugeführten Luft erhalten werden kann, so läſst sich der durch Ableitung der noch warmen Luft verursachte Mehrbedarf an heiſser Luft dadurch mit in Rechnung bringen, daſs man die Geschwindigkeit der Bewegung um so viel geringer annimmt, als sie eigentlich seyn wird, und daher auch für den Luftwechsel $t - t' = t''$ dem Unterschiede der Temperatur am Boden der zu heizenden Zimmer und im Wärmecanale gleich setzt. Uebrigens folgt aus dieser Betrachtung, daſs bei nicht groſser Kälte mit Rücksicht auf die nicht unbedeutende Luftmenge, welche durch die zahlreichen Risse in den Wandungen eines Zimmers entweichen kann, es rathsam sey, den Abzugs-Canal temporär mit einem Schieber zu verschlieſsen, und den beständigen Wärmeverlust der Zimmer durch den offenen Zuleitungs-Canal zu ersetzen.

Für den praktischen Gebrauch ist es sehr angenehm, die erforderlichen Gröſsen, wenn auch nur in genäherten Werthen, im Voraus berechnet zu erhalten. Es wird indeſs von der Wahrheit nicht weit abweichen, und der erforderlichen Construction ganz angemessen seyn, wenn die Temperatur der Luft am Boden der Zimmer $t = 15°$ C., im Wärmecanale $t' = 40°$ C. gesetzt wird, woraus sich also $t' - t = t'' = 25°$ C. ergiebt. Auf gleiche Weise möge für den ersten Stock die Höhe des Canals, die Heizung im Souterrain vorausgesetzt, $= 12$ F., im zweiten $= 27$ F., im dritten $= 40$ F. angenommen werden. Mit diesen Gröſsen wird der Divisor in der oben gegebenen Formel (4) für den ersten Stock $= 75{,}467$; für den zweiten $= 113{,}2$ und

Digitized by Google

für den dritten = 137,78. Um den Werth von m in eben jener Formel zu bestimmen, darf man nur die Quantität von Luft kennen, welche in 1 Minute um 25° C. in einem gegebenen Zimmer abgekühlt wird[1]. Letztere ist oben Nr. 11 für die am besten, mittelmäſsig und schlecht verwahrten Zimmer = 35; 38 und 42 Par. Cub. F. in 1 Minute gefunden, ohne jedoch bei einer von diesen Bestimmungen auf den Verlust durch geöffnete Fenster und Thüren Rücksicht zu nehmen. Weil indeſs bei den vorliegenden Bestimmungen die Temperatur der Luft im Wärmecanale so geringe angenommen ist, daſs sie leicht bedeutend höher gesteigert werden kann, wodurch dann nicht bloſs wärmere Luft ins Zimmer strömt, sondern auch in weit gröſserer Menge wegen vermehrter Geschwindigkeit der Bewegung, zu weite Canäle aber zu groſse Mündungen erfordern, wodurch die Zimmer leicht entstellt werden, so genügt es als normale Bestimmung die bisher allezeit angenommene von 35 Cub. F. als für ein Zimmer von 4032 Cub. F. Inhalt völlig genügend beizubehalten. Um endlich für gröſsere Zimmer genäherte Werthe von m zu erhalten, dient die Nr. 22 gefundene Formel, wonach die Wärmeconsumtionen der $\frac{2}{3}$ Potenz des Cubikinhaltes derselben proportional sind. Nach diesen Elementen ist folgende Tabelle über erforderliche Weite der Leitungs-Canäle in Par. F., einen solchen Quadratfuſs als Einheit angenommen, berechnet, welche in der ersten Columne den Cubikinhalt der Zimmer in Par. F., in den drei andern aber die Weite des Wärme-Canals oder die Fläche des Querschnittes desselben enthält. Dabei

1 Es ist zwar in Nr. 22 bei der Bestimmung der Gröſsen der erforderlichen Oefen auf die Erwärmung der gänzlich abgekühlten Wände Rücksicht genommen, und diesemnach die Quantität der zu erwärmenden Luft sehr groſs gefunden. Wollten wir jene Luftmenge hier beibehalten, so würde dieses zu einem aller Erfahrung widerstreitenden Resultate führen. Allein der Ofen muſs von solcher Gröſse seyn, daſs er eine zur Erzeugung einer groſsen Quantität erwärmter Luft hinreichende Menge Holz zugleich aufnehmen kann, welche dann erst in geraumer Zeit verbrennt, der Luftcanal dagegen muſs nur eine solche Weite haben, daſs alle jederzeit verbrauchte warme Luft zuströmen könne. Ist das Zimmer dann völlig erkaltet, so wird gar keine Wärme abgeleitet, sondern sie wird sämtlich verschluckt, bis die Wandungen erwärmt sind, und der geforderte Zustand des Gleichgewichts hergestellt ist, wozu, wie bei der Ofenheizung eine gewisse gröſsere oder geringere Zeit erfordert wird.

Digitized by Google

versteht es sich von selbst, daſs nach dem Bedarf eines Raumes ein einzelne Canal oder auch mehrere gewählt werden können, deren Summe dann der in der Tabelle enthaltenen Gröſse gleich kommen muſs. Wer auſserdem mit Anlagen dieser Art bekannt ist, der wird finden, daſs die hier berechneten Werthe mit denen sehr genau übereinkommen, welche die Erfahrung als genügend dargethan hat.

| Cub. Inhalt d. Zimmer. | Weite der Canäle 1. Stock | 2. Stock | 3. Stock. |
|---|---|---|---|
| 5000 | 0,535 | 0,337 | 0,293 |
| 10000 | 0,850 | 0,567 | 0,465 |
| 15000 | 1,114 | 0,590 | 0,610 |
| 20000 | 1,348 | 0,899 | 0,739 |
| 25000 | 1,565 | 1,043 | 0,857 |
| 30000 | 1,767 | 1,178 | 0,968 |
| 35000 | 1,959 | 1,306 | 1,073 |
| 40000 | 2,141 | 1,427 | 1,173 |
| 45000 | 2,316 | 1,544 | 1,269 |
| 50000 | 2,485 | 1,656 | 1,361 |
| 55000 | 2,648 | 1,765 | 1,450 |
| 60000 | 2,806 | 1,870 | 1,537 |
| 65000 | 2,960 | 1,973 | 1,621 |
| 70000 | 3,109 | 2,073 | 1,703 |
| 75000 | 3,256 | 2,171 | 1,783 |
| 80000 | 3,399 | 2,266 | 1,862 |
| 85000 | 3,539 | 2,360 | 1,938 |
| 90000 | 3,676 | 2,451 | 2,014 |
| 95000 | 3,812 | 2,541 | 2,087 |
| 100000 | 3,944 | 2,626 | 2,160 |
| 150000 | 5,168 | 3,445 | 2,831 |
| 200000 | 6,261 | 4,174 | 3,429 |
| 250000 | 7,265 | 4,843 | 3,979 |
| 300000 | 8,204 | 5,470 | 4,494 |

32. Die Richtung der *Wärmecanäle* kann kein Gegenstand weitläuftiger Untersuchung werden. Es ist nämlich an sich klar, daſs bei der Berechnung der Bewegungsgeschwindigkeit der Luft nicht die Länge der Canäle, sondern bloſs ihre lothrechte Höhe in Betrachtung kommen kann. Indem ferner jeder Canal auf seiner ganzen Länge eine gewisse Quantität Wärme durch Mittheilung an die Wandungen verliert, so darf schon keiner aus dieser Ursache auf eine solche Weite fortgeführt werden, daſs dadurch eine bedeutende Verminderung der Geschwindigkeit bewirkt würde. Krümmungen der Canäle,

Digitized by Google

insbesondere rechtwinklige, sind möglichst zu vermeiden, weil durch letztere die Geschwindigkeit der Luftströmung leicht bis um 0,2 vermindert werden kann [1]. Sollen mehrere in einer horizontalen Ebene liegende Zimmer aus dem nämlichen Canale gespeiset werden, so muſs der letztere eine für die erforderliche Luftmenge und die Geschwindigkeit der Bewegung gehörig berechnete Weite haben, so viel wie möglich ansteigen und mit angemessenen Oeffnungen für jedes Zimmer versehen seyn, deren Gröſse dem aliquoten Theile der abzugebenden Luft mit Rücksicht auf die erforderliche Geschwindigkeit proportional zu bestimmen ist. Genau genommen müſste der Canal selbst nach jeder Abgabe eines Theiles seiner zugeführten Luft, mit Rücksicht auf die etwas verminderte Bewegung, enger werden; allein es ist kaum möglich hierüber eine scharfe Berechnung anzustellen, da die verschiedenen Bedingungen, namentlich der Wärmeverlust des Canal's, auf keine Weise bestimmt gegeben sind. Ueberhaupt aber kann eine Heizung mehrerer Zimmer vermittelst eines einzigen horizontalen oder wenig ansteigenden Canales aus den oben Nr. 29 angegebenen Gründen nie mit Sicherheit angelegt werden, wenn gleich mir selbst und andern mehrere gelungene Beispiele dieser Art bekannt sind. Am zweckmäſsigsten und sichersten ist es auf allen Fall, jedem Zimmer durch einen eigenen, von der Heizkammer ausgehenden, und durch einen Schieber verschlieſsbaren Canal die warme Luft zuzuführen, und bei der Circulirung die kalte eben dahin zurückzuführen.

33. Der Ort endlich, wo die Wärmecanäle in den Zimmern münden sollen, wird durch verschiedene Bedingungen bestimmt. Betrachtet man die Sache zuvor im Allgemeinen, so räth Meissner die Mündungen unter der Decke anzubringen, Wagenmann dagegen verwirft dieses, und verlangt, daſs sie nur wenig oder gar nicht über den Fuſsboden erhaben seyn sollen, weil die warme Luft ohnehin eine Neigung habe in die Höhe zu steigen. Allein eben weil dieses Letztere der Fall ist, so wird sie, auch ohne Fortführung derselben in dem Canale dieses um so mehr thun, als sie durch das Aufsteigen in dem letzteren diese Richtung ihrer Bewegung schon erhalten hat, und man könnte vielmehr sagen, daſs sie aus einer nicht weit unter der Decke befindlichen Oeffnung strömend durch den Stoſs ge-

1 Genauere Bestimmungen hierüber S. im Art. *Pneumatik*.

Digitized by Google

gen die ihr dargebotene Fläche wieder herabzusteigen bestimmt würde. Ist gleich auf dieses letztere Argument nicht viel zu bauen, so bleibt doch gewiſs, daſs der im Zimmer hinaufgeführte, oder in der einen Wand desselben befindliche Canal der letzteren einen Theil seiner Wärme abgeben, durch seine gröſsere Höhe aber der enthaltenen Luft eine gröſsere Geschwindigkeit ertheilen wird. Auſserdem lehrt die Erfahrung, daſs ein mit einem Mantel umgebener Ofen dadurch, daſs er die kalte Luft vom Fuſsboden anzieht und oben in die Höhe zu steigen veranlaſst, die unteren Luftschichten zu erwärmen geschickt gemacht wird. Hierbei erheben sich gleichfalls die warmen Luftschichten mehr als bei der gewöhnlichen Ofenheizung, dennoch aber ruhen die kalten Luftschichten weniger über dem Fuſsboden als bei der letzteren, weil durch das Hin- und Zurückströmen der Luft überhaupt eine stärkere Mischung derselben bewirkt wird, als wenn eine solche Ursache der Bewegung fehlt. Weil auſserdem die kalte Luft durch den Abzugs-Canal stets abflieſst, so müssen die wärmeren Luftschichten hiernach von oben allmälig herabsinken. Indem aber alles dieses auch stattfindet, wenn die Mündung des Wärme-Canals nicht hoch ist, so kann die letztere Einrichtung auf allen Fall nicht schaden, und das Münden der Canäle in gröſserer Höhe oder selbst unmittelbar unter der Decke nach Meissner nicht als Regel angegeben werden, wenn es gleich keinen auffallenden Nachtheil bringt. Meistentheils entscheidet die Localität über diese Frage. In groſsen Fabriksälen, geräumigen Trockenstuben, in ausgedehnten Krankenzimmern, und überhaupt da, wo allgemeine gleichmäſsige Verbreitung der warmen Luft, verbunden mit möglichster Ersparniſs bei der Heizung, mehr zu berücksichtigen ist als Schönheit und Entfernung jeder Unbequemlichkeit wird man wohl thun, den Heiz-Canal in der Mitte des zu erwärmenden Raumes, oder, wenn mehrere solche Canäle erforderlich sind, in gleichen Abständen von der Mitte und den Wänden nicht weit über dem Fuſsboden münden zu lassen, in welchem Falle dann die vorzugsweise zu erwärmenden Gegenstände auf geeigneten Gerüsten neben oder selbst über diese Mündungen gebracht werden können. In Zimmern, welche von einzelnen Personen bewohnt werden, macht es in vielen Fällen keinen Uebelstand, wenn man an einer geeigneten Stelle sogar im Fuſsboden selbst eine vermittelst einer Klappe zu ver-

Digitized by Google

schlieſsende Oeffnung anbringt. In Tanz- und Concertsälen, Opernhäusern u. s. w. ist eine solche Einrichtung unmöglich, und überhaupt müssen allezeit die Mündungen der Heiz-Canäle in gröſserer Höhe angebracht werden, wenn man zu fürchten hat, daſs zufällig oder absichtlich Sachen in dieselben gelangen könnten, welche sie verstopfen oder gar auf den Ofen herabfallen und daselbst mit Verbreitung eines widerlichen Geruches verkohlt werden könnten. Zugleich ist auch dahin zu sehen, daſs die im Zimmer befindlichen Personen durch die zu groſse Wärme der ausströmenden Luft nicht leiden. Nach allen diesen wird es nicht schwer seyn, in jedem Falle über den schicklichen Ort und die geeignete Höhe dieser Mündungen zu entscheiden. Die Oeffnungen der Canäle für die kalte Luft müssen allezeit im Fuſsboden oder in sehr geringer Höhe über ihm, weit entfernt von den Wärmecanälen angebracht werden, und beim Luftwechsel am besten in der Nähe der Fenster, um die dort am stärksten abgekühlte Luft sofort aufzunehmen und wegzuführen. Daſs beide, sowohl die Zufluſs-Canäle für die warme Luft als auch die Abführungs-Canäle der kalten Luft zweckmäſsig mit Schiebern versehen werden, um die Stärke der Strömung erforderlichen Falls zu reguliren, oder dieselbe ganz aufzuheben, liegt so nahe bei der Sache, daſs es kaum einer besondern Erwähnung bedarf. Endlich lassen sich die Mündungen beider noch auf verschiedene Weise, z. B. in den Gesimsen, den Lambrinen u. s. w. maskiren oder auf eine den zu erwärmenden Räumen angemessene Art decoriren, worüber man aber hier keine Vorschläge erwarten wird. Weniger zur Schönheit als zum Nuzzen gehört aber noch eine solche Einrichtung, wenn man die Wärmecanäle mit den erforderlichen Klappen versieht, um ihre Mündung in den Zimmern zu verschlieſsen und zugleich eine andere ins Freie zu öffnen, auf den Fall, daſs in der Heizkammer Rauch entstehen sollte, dessen Eintritt in die Zimmer zu verhüten wäre, wobei diese Vorrichtung zugleich auch dazu dienen könnte, einer Ueberheizung der Zimmer sofort zu begegnen. In diesem Falle dürfen die Canäle für die warme Luft nur bis an einen zur Aufnahme der überflüssigen Wärme und des etwa entstehenden Rauches schicklichen Ort fortgeführt, für gewöhnlich aber mit einer Klappe versehen werden, welche sie abschlieſst, und die Luft nöthigt in die Zimmer zu strömen, worüber es keiner besonderen Vorschriften bedarf. Die Verschlieſsung der in die

Digitized by Google

Zimmer gehenden Mündungen kann sehr leicht durch eine ble-
Fig. 69. chene Rosette bewerkstelligt werden, deren Blätter *α*, *α*, *α* .... die Oeffnungen a, a, a .... entweder bedecken oder offen lassen. Bei dieser Einrichtung muſs jedoch dahin gesehen werden, daſs die Summe der Oeffnungen a, a, a mehr beträgt, als die Querschnittsfläche des Canals, weil die Geschwindigkeit der Luftbewegung durch die Engigkeit dieser einzelnen Räume bedeutend vermindert wird.

34. Zum Beschluſs endlich lassen sich den bisherigen Untersuchungen über die beiden zuletzt betrachteten Heizmethoden noch folgende Bemerkungen hinzufügen. Meissner räumt der Luftheizung einen entschiedenen Vortheil ein, weil sie eine bedeutende, selbst 30 pC. noch übersteigende Ersparung an Brennmaterial erzeugen soll, und diese Behauptung sucht er durch amtlich attestirte Ergebnisse vergleichbarer Versuche zu beweisen. Die von ihm bekannt gemachten Zeugnisse hierüber sind allerdings von der Art, daſs es eben so sehr gegen die historische Kritik als gegen das Vertrauen, welches öffentliche Behörden verdienen, anstoſsen würde, wenn man sie im mindesten bezweifeln wollte, und dieser Umstand hat sicherlich viel dazu beigetragen, die Aufmerksamkeit auf die so sehr gepriesene Heizmethode allgemein zu erregen. Inzwischen streitet jene Behauptung durchaus gegen die Theorie, indem bei gleich zweckmäſsiger Construction der nämliche Ofen in einer Heizkammer aus einer gleichen Quantität Brennmaterial doch nicht mehr Wärme geben kann als im Zimmer selbst, im ersteren Falle aber von der erzeugten Menge allezeit ein gewisser Theil durch die Heizkammern selbst und die Canäle verloren werden muſs. Aus diesem einleuchtenden Grunde habe ich selbst gleich nach der Bekanntwerdung der Schrift von Meissner[1] nachgewiesen, daſs unbeschadet der Aechtheit der ausgestellten Certificate aus der genaueren Berechnung der angegebenen Gröſsen bei weitem ein so groſser Vortheil durch Holzersparniſs für die Luftheizung nicht hervorgeht, als Meissner gefunden zu haben glaubt, Wagenmann aber entscheidet diese Frage noch bestimmter indem er sagt, die angegebenen Versuche bewiesen bloſs, daſs man es in einer zweckwidrigen Construction der Oefen allerdings sehr weit

1 S. Meine Beurtheilung der 3. Aufl. in Heidelb. Jahrb. d. Lit. 1826. Nr. XII.

Digitized by Google

bringen könne. Seitdem sind die Versuche ausnehmend vervielfältigt, und daraus ergiebt sich denn mit der Theorie völlig übereinstimmend, daſs die Luftheizung nicht bloſs keine Ersparniſs an Brennmaterial giebt, sondern vielmehr bei gleich zweckmäſsiger Construction beider Heizarten einen Mehrbedarf als die gemeine Ofenheizung erfordert, insbesondere wenn sie für den Luftwechsel eingerichtet ist. Bloſs mit stark ziehenden und nicht hinlänglich genau verschlieſsbaren Windöfen verglichen könnte in dieser Hinsicht ein Vortheil auf die Seite der Luftheizung fallen, und auſserdem ist man bei der Construction der Zimmeröfen durch Rücksichten auf das Aesthetische und die Vermeidung einer zu starken Wärmestrahlung gebunden, so daſs sie nicht allezeit hinsichtlich auf vollständiges Verbrennen des Heizmaterials und Abgeben der hierdurch erzeugten Wärme namentlich bei eisernen Oefen für sehr groſse Zimmer auf gleiche Weise zweckmäſsig seyn kann, als bei der Luftheizung, und in sofern ist also auch der Ausspruch von Wagenmann gerechtfertigt, wenn er sagt: „Ein eiserner Ofen erwärmt das Zimmer gleich„mäſsiger, wenn er in der Heizkammer, als wenn er frei im „Zimmer steht, und deſshalb kann er im ersteren Falle, beson„ders in hohen Zimmern, eine behaglichere Temperatur mit „wirklicher Ersparung an Brennmaterial hervorbringen.“ Wirkliche Ersparung und sonstige überwiegende Vortheile gewährt die Luftheizung für Trockenstuben, weil sie die Dämpfe gänzlich fortführt, eine an sich so leicht begreifliche Sache, daſs sie keiner weiteren Erläuterung bedarf, und es sollte daher billig keine Trockenanstalt (für Schieſspulver ausgenommen) mit einer anderen als der Luftheizung eingerichtet werden. Entschieden vortheilhaft ist sie ferner für Fabrik- und Kranken-Säle u. s. w., wo eine stete Ventilation nothwendiges Bedürfniſs ist, und sie muſs in den beiden genannten Fällen durchaus für den Luftwechsel eingerichtet seyn. Auſserdem giebt sie eine allgemeiner verbreitete milde und angenehme Wärme, kann also auch da angewandt werden, wo es auf einen gröſseren Verbrauch von Brennmaterial nicht so sehr ankommt, und man die Camine von den Gängen zu entfernen wünscht. Ungewöhnlich groſse Säle sind durch gemeine Oefen entweder gar nicht, oder nur unvollkommen zu erwärmen, den Uebelstand abgerechnet, welchen der Anblick colossaler Oefen darbietet, und hier ist daher die Luftheizung abermals geeignet. In Strafanstalten und Irrenhäusern

will man oft eine Menge Zimmer so heizen, daſs die Bewohner keinen Zutritt zu den Feuerstätten haben können. Wählt man hier Luftheizung, so ist vor allen Dingen dahin zu sehen, daſs die Communication der Röhren keine unangenehme Fortführung des Schalles erzeugt, ein Umstand, welchem vollständig begegnet werden muſs, wenn diese Heizmethode daselbst überall zulässig seyn soll; wie dieselbe aber in jedem einzelnen Falle einzurichten sey, darüber sind die Regeln im Vorhergehenden vollständig enthalten.

35. Auſser den drei genau beschriebenen Arten der Heizung hat man noch die Dampfheizung und die Caminheizung. Von der ersteren ist indeſs an einem anderen Orte[1] gehandelt, und was dort nicht vorkommen konnte, nämlich die Bestimmung der zur Erwärmung eines Zimmers von gegebener Gröſse erforderlichen Menge von Wasserdampf, kann oben aus Nr. 11 entnommen werden. Vergleicht man dieselbe mit der Ofen- und Luft-Heizung, so ist vor allen Dingen zu berücksichtigen, daſs sie ein sehr groſses Anlage-Capital an Heizkessel und Röhren erfordert, und mit der Luftheizung den Nachtheil gemein hat, daſs alle Zimmer nicht geheizt werden können, wenn ein Theil der Vorrichtung der Ausbesserung bedarf. Dagegen gewährt sie den Vortheil, daſs die Anlage eine vortheilhafte Benutzung des Brennmaterials gestattet, die Heizröhren durch mehrere, auch horizontal liegende Zimmer fortgeführt werden können, indem selbst das aus dem Dampfe niedergeschlagene Wasser und der Dampf unter der Siedehitze noch eine bedeutende Menge Wärme abgeben, daſs die Dampfröhren eine absolute Sicherheit gegen Entzündung gewähren, die Bereitung des Dampfes oder der Heiz-Apparat für die Bewohner des Hauses unzugänglich gemacht werden kann, ohne die unangenehme Mittheilung des Schalles, welche die communicirenden Luft-Canäle so leicht erzeugen, zur Folge zu haben, und daſs endlich leicht Vorrichtungen angebracht werden können, um in den verschiedenen Stockwerken zum ökonomischen Gebrauche stets warmes Wasser vorräthig zu haben. Auf dem Continente hat man indeſs mit dieser Heizart noch nicht Versuche genug angestellt, um auf deren Ergebnisse ein genügendes Urtheil zu gründen, und namentlich die Frage zu entscheiden, ob der Dampf mit Si-

1 S. *Dampf* Th. II. S. 406.

Digitized by Google

cherheit bis zum zweiten oder dritten Stockwerke hinaufgeleitet werden kann, und diese Frage läſst selbst das ausführliche Werk von Tredgold[1] ohne genügende Beantwortung. In Treibhäusern aber, wo die Luftheizung wegen zu groſser Austrocknung der Pflanzen unzulässig ist, kann die Dampfheizung mit Nutzen angebracht werden, vielleicht sogar ohne Röhrenleitungen durch bloſsen Eintritt des heiſsen Dampfes. Die Caminheizung endlich übergehe ich ganz; sie ist mehr ein Gegenstand des Luxus als der zweckmäſsigen Zimmerheizung, und giebt zu wenig Wärme bei groſsem Verbrauche von Brennmaterial, als daſs sie hierzu mit Nutzen und Sicherheit angewandt werden könnte. Tredgold[2] nimmt an, daſs die Caminheizung dreimal so viel Brennmaterial koste als jede andere Heizung, und ich glaube, daſs dieses Verhältniſs auch bei vortheilhafter Construction der Camine noch eher zu geringe als zu groſs ist.

*M.*

# Heliometer.

*Heliometrum;* Héliomètre; *Heliometer.* Eigentlich ein Instrument zur Messung der Sonne, nämlich zur Abmessung ihres scheinbaren Durchmessers; eben deshalb aber ein Instrument, welches zur Messung und zwar zur sehr genauen Messung kleiner Winkel überhaupt geeignet ist.

Bouguer ist zwar nicht der erste, welcher ein Instrument, dem jetzt noch gebräuchlichen ähnlich, vorgeschlagen hat; aber er scheint es zuerst angewandt zu haben, und hat es erfunden, ohne zu wissen, daſs ein Vorschlag ähnlicher Art schon früher gemacht war. Er bemerkt, daſs die bis dahin üblichen Mikrometer für gröſsere Gegenstände, wie die Sonne zum Beispiel ist, keine Genauigkeit geben können, weil es unmöglich ist, beide so weit von einander entfernte Ränder zugleich mit vollkommener Deutlichkeit zu sehen. Die Beobachtung des Durchmessers, welcher senkrecht auf den Aequator ist, lasse sich zwar so erhalten, daſs man den Himmelskörper zwischen zwei parallelen

1 Principles of Warming and Ventilating cet. Lond. 1824. 8. T. Tredgold's Grundsätze der Dampfheizung u. s. w. von O. B. Kühn. Mit Anmerk. des Ueb. Leipz. 1826. 8.

2 Edinb. Phil. Journ. XXIV. 263.

Fäden, denen man gerade die gehörige Distanz gegeben habe, hin gehen lasse, und der dem Aequator parallele Durchmesser lasse sich durch den Antritt an Fäden, welche senkrecht gegen die tägliche Bewegung sind, vermittelst der Zeit bestimmen, aber beides gebe nicht die Genauigkeit, die man hier zu erreichen wünschen müsse. Das von ihm vorgeschlagne Heliometer oder Astrometer beruhet auf folgender Betrachtung. Wenn
Fig. 70. AB das Objectivglas eines Fernrohres ist, so giebt der Gegenstand, welcher unter dem Sehewinkel PCQ erscheint, im Brennpuncte ein Bild pq. Brächte man nun ein zweites Objectiv BD so an, daſs die Axe desselben der Axe des vorigen parallel wäre, so erhielte man das Bild desselben Gegenstandes noch einmal, und aus der bekannten Stellung der Gläser lieſse sich die Lage beider Brennpuncte, also der Abstand qq′ der beiden, einem gleichen Puncte angehörenden Bilder berechnen, mithin auch der Sehewinkel bestimmen, unter welchem qq′ durch das Augenglas erscheint. Ist also eine Schraube an dem einen Objective so angebracht, daſs sie nicht bloſs die Stellung desselben zu ändern, sondern auch den Abstand der Mittelpuncte beider Objective zu messen dient, so kann man an dieser Schraube auch den Abstand der beiden Brennpuncte von einander ablesen, und dadurch den Winkel jedesmal kennen, unter welchem der Abstand correspondirender Puncte beider Bilder dem Auge erscheint, welches durch das Ocular sieht; und wenn man nun der Schraube die Stellung giebt, daſs des einen Bildes höchster Punct q′ mit dem tiefsten Puncte p des andern zusammenfällt, daſs sich die gesehenen Bilder berühren, so ist diese Entfernung der Brennpuncte, oder vielmehr der ihr entsprechende scheinbare Abstand der beiden Brennpuncte von einander gleich dem scheinbaren Durchmesser des Gegenstandes.

Bouguer bediente sich zweier gleicher Objective von 18 Fuſs Brennweite. Um die Bilder einander näher rücken zu können, schlägt er vor, Objectivgläser von kleiner Oeffnung, die vorzüglich für die Beobachtung der Sonne recht gut hinreichen, anzuwenden[1].

Servington Savery hatte schon früher (1743) der Londoner Societät einen ganz ähnlichen Vorschlag vorgelegt, der aber nicht beachtet zu seyn scheint und erst 1753 bekannt ge-

1 Mém. de l'acad. de Paris pour 1748. p. 25.

macht wurde[1]. Dieser schlug vor, Stücke von zwei ganz gleichen Objectivgläsern oder Hohlspiegeln auf die oben erwähnte Art zu gebrauchen.

Dollond machte den Vorschlag[2], zur Abmessung solcher Winkel ein Objectivglas in zwei Hälften zu theilen und diese dann in zwei Schiebern befestigt, so von einander zu entfernen, wie es die Messung fordre. Er bemerkt dabei, daſs die Bilder dann eben so gut, nur minder lichtvoll erscheinen, und daſs man die Hälften also rechtwohl gebrauchen könne. Man müsse von der Stellung, wo sie vereinigt nur ein Objectiv bilden, ausgehen, dann den genauen Abstand der beiden Mittelpuncte, wie er bei der Abmessung statt finde, bestimmen, und daraus in Verbindung mit der Brennweite den Winkel, den man durch die Beobachtung bestimmen wolle, berechnen.

Dieser Gebrauch der beiden Hälften desselben Objectivs hat den Vorzug, daſs man gewiſs bei beiden eine gleiche Brennweite hat, und daſs die Mittelpuncte der Gläser einander sehr nahe, ja bis zum Zusammenfallen nahe gebracht werden können.

Die Einrichtung des Instruments ist in neuerer Zeit vorzüglich durch Fraunhofer ungemein vervollkommnet worden, indem nicht nur an den von ihm oder jetzt wenigstens nach seiner Anordnung verfertigten Instrumenten die Mikrometerschraube den höchsten Grad von Genauigkeit hat, sondern auch eine Stellung des Objectivs in jede Richtung möglich ist, vorzüglich aber durch multiplicirte Messung gröſsere Genauigkeit erreicht wird, und in Hinsicht der Stellung des Oculars u. s. w. alle Berichtigungen statt finden, deren man irgend bedarf.

## Fraunhofer's Heliometer.

Um die Uebersicht dessen, worauf es hier hauptsächlich ankömmt, zu erleichtern, bleibe ich zuerst bei dem Fernrohre stehen. Die Figur zeigt bei AB und bei CD die beiden mes- Fig. 71.
singnen Fassungen oder Schieber, in welchen die beiden Objectivhälften befestigt sind. Jede derselben kann durch eine Schraube, deren Köpfe man bei A und C sieht, höher oder niedriger gestellt werden, und indem dadurch die an diesen Fas-

1 Phil. Trans. Vol. XLVIII. Part. I. for the Y. 1753. p. 167.
2 Phil. Tr. Vol. XLVIII. P. I. for 1753. p. 178.

Digitized by Google

sungen befindlichen Theilungsstriche an dem feststehenden Index vorbei rücken, ist man im Stande die gegenseitige Stellung der Mittelpuncte beider Objectivhälften abzulesen. Stehen beide Theilungen, die nämlich den beiden verschiedenen Hälften zugehören und die durch die beiden Schrauben, deren Köpfe man bei A und C sieht, regiert werden, auf einer gleichen Theilungszahl, so fallen die Mittelpuncte beider Objectivhälften zusammen und die beiden Bilder decken einander; stehen sie nicht auf gleichen Theilungszahlen, so giebt die Differenz zunächst an, um wie viele Mikrometertheile sie von einander entfernt sind, woraus dann, wie nachher gezeigt werden soll, die scheinbare Gröſse des Abstandes berechnet wird.

Die Schrauben, welche sich mit ihrem Ende auf den festen Theil, woran der Index sich befindet, aufstützen, sind mit der allergröſsten Sorgfalt geschnitten, so daſs nicht bloſs alle Schraubengänge unter sich ganz gleich sind, sondern selbst jedes Hundertstel einer Umdrehung noch ein gleiches Fortschieben bewirkt. Man liest daher nicht bloſs an der Scale, welche die Figur zeigt, die Anzahl der ganzen Schraubendrehungen ab, sondern an dem Kopfe A der einen Schraube ist der Umfang in 100 Theile getheilt und ein Zeiger giebt an, wie viele Hundertstel einer Drehung noch auſser den ganzen Umgängen statt gefunden haben. Der andre Schieber hat eine solche mikrometrische Theilung nicht. Beide Schrauben gehen in Hohlschrauben (Schraubenmüttern), die in den Schieber beider Objectivhälften eingeschnitten sind. Daſs diese Schraubengänge auf das genaueste in einander passen müssen, damit eben so wenig ein Klemmen als ein todter Gang stattfinden könne, versteht sich von selbst; der todte Gang wird dadurch gehindert, daſs es nicht einige wenige Schraubengänge sind, in deren Höhlungen die Schraube geht, sondern eine hinreichende Anzahl, um den sicheren Gang zu bestimmen. Da die Schraube sich unten aufstützt, so erhellet, daſs das Heben der beweglichen Fassung sogleich anfängt, wenn die Drehung der Schraube es zu bewirken strebt; damit aber auch beim entgegengesetzten Drehen sogleich das Herabschieben anfange, hat die Schraube auch noch oben einen sich anstemmenden Ring, so daſs sie sich weder heben noch senken kann, und deshalb die bewegliche Hohlschraube sogleich hinab oder hinauf drängt, sobald man zu drehen anfängt. Die Drehung dieser Mikrometerschraube wird durch die

Digitized by Google

gezähnten Räder E und F bewirkt, und diese setzt der Beobachter, indem er die Scheibe G, H, dreht, auf eine bequeme Weise in Bewegung.

Die beiden Objectivhälften sind beide beweglich und darauf beruht die Möglichkeit multiplicirend zu messen. Befinden sich beim Anfange der Beobachtung beide Theilungen auf einem gleichen Puncte der Scale, so sieht der Beobachter im Fernrohre den Gegenstand, einen Planeten zum Beispiel, nur einfach; er schraubt jetzt die eine Objectivhälfte fort, und sieht nun zwei sich noch zum Theil deckende, beim Fortschrauben immer weiter aus einander rückende Bilder, die er so weit aus einander bringt, daſs sie sich nur grade noch berühren. Lieset er jetzt an der Scale AB und der Schraube A ab, so findet er z. B. 0,75 Umgänge der Schraube, und dieses wäre der einmalige Durchmesser in Mikrometertheilen. Um den mehrmaligen Durchmesser zu erhalten, läſst der Beobachter jetzt diese erste Schraube unberührt, dreht aber dagegen die andre Schraube und führt das eine Bild dadurch über das andre weg, bis wieder beide einander berühren; dann läſst man die zweite Schraube in ihrer Stellung, dreht die erste wieder nach eben der Richtung wie vorhin, fort, läſst so die Bilder nochmals zur Berührung kommen, und lieset abermals ab; man wird die Schraube um 2,25 Umgänge fortgerückt finden, also den dreifachen Durchmesser = 2,25 Mikrometertheilen angeben. Wird nun wieder die zweite Schraube bis zur Berührung der Bilder an der andern Seite, dann wieder die erste bis zur neuen Berührung fortgedreht, so hat man abermals den doppelten Durchmesser als Bestimmung des Fortrückens der Schraube, und die abgelesene Zahl müſste nun den fünffachen Durchmesser = 3,75 angeben und so ferner. Daſs es sich so verhält, ist leicht zu übersehen; denn als die Schrauben gleich standen, deckte das Bild A das Bild B; beim Fortrücken der ersten Schraube nahm das Fig.
eine Bild die Stellung A ein, und B blieb ungeändert, der Ab- 72.
stand ab ist gleich einem Durchmesser; beim Drehen der zweiten Schraube rückte B nach B′, beim abermaligen Fortrücken der ersten Schraube kam A nach A′, und ac gab den dreimaligen Durchmesser an, und so ferner. Daſs diese multiplicirenden Messungen den Vortheil gewähren, die zufälligen Fehler jeder einzelnen Messung auszugleichen; ferner, daſs man nicht nöthig hat, nach jeder Messung einzeln abzulesen, daſs dieses aber



Digitized by Google

nützlich ist, um den Fehler, welchem jede einzelne Messung unterworfen ist, kennen zu lernen u. s. w., ist wohl bekannt genug.

Ich habe bisher nur den Haupttheil dieses multiplicirenden Heliometers erklärt, und seinen Gebrauch gezeigt; jetzt komme ich zu der Drehung des Objectivs. Wenn man bloſs die Durchmesser genau kreisförmiger Gegenstände messen will, so wäre es einerlei, ob sich die beiden Objectivhälften in einer auf den Aequator senkrechten oder schief dagegen geneigten Stellung fort bewegten; aber gesetzt man wollte den Abstand zweier Fixsterne von einander, oder den Axendurchmesser eines merklich sphäroidischen Planeten u. s. w. messen, so müſste man die Objectivhälften in die Stellung bringen, daſs das Bild des einen Sternes gerade auf den andern zu ginge, wenn man die Schrauben dreht, oder daſs die Berührung der beiden Planetenbilder genau am Pole des Planeten statt fände, und deshalb ist das Objectiv mit den gesammten bisher beschriebnen Theilen um die Axe
Fig. des Fernrohrs beweglich. Der ganze Apparat ABCD wird durch
71. eine fest andrückende Sperrung fest gehalten, hebt man aber diese aus, so kann man mit der Hand die Drehung um die Axe des Fernrohrs zu Stande bringen, und indem man den sperrenden Hebel wieder eingreifen läſst, auch ein leises Fortrücken mit Hülfe einer Schraube bewirken. Damit aber dann zugleich die zur Drehung dienenden Stangen G, H die richtige Stellung behalten, löst man zugleich die Schraube, die den Ring IK festhält, und giebt ihnen durch Drehung dieses Ringes die mit der Axe des Fernrohrs parallele Lage. Bei der hier in der Figur dargestellten Anordnung hat die Drehung des Objectivs noch die Unbequemlichkeit, daſs der Beobachter jedesmal das Beobachten unterbrechen und zum Objectiv hingehen, oder einen Gehülfen haben muſs, um dieses in den richtigen Stellungswinkel zu bringen, und weil dieser sich nicht sogleich, oft erst nach wiederholten Berichtigungen genau erhalten läſst, so wird dadurch die Beobachtung bedeutend gestört; es ist daher bei den neueren in der Utzschneider'schen Officin verfertigten Heliometern auch zur Drehung des Objectivs, zum Fortschrauben der Schraube, welche die feinere Drehung bewirkt, eine solche Einrichtung gemacht, daſs der Beobachter, ohne sein Auge vom Oculare zu entfernen, den richtigen Stellungswinkel des Objectivs erhalten kann. Hat das Objectiv diese erreicht, so liest man auf der an der Fassung des

Digitized by Google

Objectivs angebrachten Theilung die Grade und Minuten des Stellungswinkels ab; der Nonius giebt diese bis auf 6 Minuten an und 3 Minuten lassen sich noch durch Schätzung angeben. Das Null dieses Kreises liegt so, daſs bei richtiger parallaktischer Aufstellung des Instruments der Positionswinkel = 0 anzeigt, daſs beide Gegenstände in demselben Declinationskreise liegen. Diese bis jetzt beschriebenen Stücke sind zwar die zur Messung wesentlichsten des Instruments; aber um die hier beabsichtigte Genauigkeit zu erhalten, muſs auch das Ocular nach und nach verschiedene Stellungen einnehmen. Indem man nämlich zuerst eine der Objectivhälften und sodann auch die andere von der Stellung, wo beide die Mitte des Rohres einnehmen, entfernt, rückt man ihren Brennpunct von der Axe des Rohres weg, und des Oculars Brennpunct fällt nun nicht mehr mit den Bildern, die man deutlich zu sehen verlangt, zusammen. Es muſs daher auch das Ocular fortgerückt werden, und um die verschiebbare Fassung desselben, den Ocularschieber, fortzubewegen, dient die Schraube, die man bei L sieht, die nämlich dazu bestimmt ist, das Ocular eben so weit vom Mittelpuncte zu entfernen, als das zu beobachtende Bild davon entfernt ist. Und damit diese Entfernung nach der richtigen Seite hin statt finde, kann auch das Ocular mit seiner ganzen Fassung um die Axe des Rohrs gedrehet werden, wobei eine Gradtheilung den Stellungswinkel ebenso, wie beim Objective angiebt.

Beim Anfange der Beobachtung muſs man also nachsehen, auf welchem Theilungspuncte die Hälften des Objectivs stehen, und auf welchen Stellungswinkel das Objectiv gestellt ist; auf eben den Stellungswinkel bringt man den Index des Oculars durch einfache Drehung mit der Hand, und schraubt nun die Schraube L so fort, bis die Theilungsscale die Lage des Oculars ebenso angiebt, wie man die der einen Objectivhälfte gefunden hatte. Man stellt nun die Beobachtung an, und schraubt deshalb die zweite Objectivhälfte fort, soweit es nöthig ist. Um ganz genau dem Zwecke gemäſs zu verfahren, muſs man, nachdem so die erforderliche Stellung beider Objectivhälften nahe richtig gefunden ist, das Ocular auf die Stellung, welche der Mitte zwischen den Stellungen beider Objectivhälften entspricht, bringen, und dann erst, indem man den zu beobachtenden zusammentreffenden Punct beider Bilder in die Mitte des Feldes bringt, mit völliger Genauigkeit das Zusammenfallen der Puncte,



Digitized by Google

deren Distanz bestimmt werden soll, sorgfältig beobachten. Will man die Beobachtung repetirend anstellen, so hat man nicht nöthig, die Gröſse des gemessenen Winkels schon jetzt an der Scale des Objectivs abzulesen, sondern man schraubt zuvor die erste Hälfte des Objectivs fort, bis, wie vorhin gezeigt wurde, das eine Bild durch das andre hindurch gerückt ist. Alsdann liest man oben die veränderte Stellung der ersten Objectivhälfte ab, welches jedoch nur in ganzen Theilen der Scale, ohne Rücksicht auf die Hunderttel, welche die Randtheilung der Schraube angiebt, zu geschehen braucht; dieser veränderten Stellung gemäſs rückt man das Ocular mit der Schraube L bis zu eben dem gehörigen Theile der Scale fort. Man wiederholt dann die ganze Beobachtung, indem man die Objectivhälften nach eben der Richtung, wie vorhin, weiter fortschraubt; bringt nach einmaliger Messung abermals das Ocular auf den richtigen Stand, und fährt so fort, so oft man die Wiederholung für nöthig hält, oder die Grenze der Scale es erlaubt. — Ist die zu messende Gröſse sehr klein, so hat man nicht gerade bei jeder Abstandsmessung nöthig, das Ocular auf die genaue veränderte Stellung zu bringen, sondern kann die Messung wiederholen, indem eine wenig vom Focus des Oculars abweichende Stellung des Bildes keinen Nachtheil bringt, und deshalb auch die Scale des Oculars nur die ganzen Theile der das Objectiv regierenden Mikrometerschraube, nicht die Hunderttel derselben, angiebt.

Was die Aufstellung des Instruments betrifft, so ist diese so eingerichtet, daſs man mit parallaktischer Bewegung den einmal im Felde aufgefundenen Stern verfolgen, oder selbst mit Hülfe der angebrachten Rectascensions- und Declinationskreise, jeden seiner Lage nach bekannten Stern in die Mitte des Feldes bringen kann.

Damit man die gehörige Stellung erhalten könne, läſst sich das ganze Instrument um eine in der Säule S T herabgehende Axe drehen. Diese Säule wird vertical gestellt, und da sie senkrecht gegen beide in U, V, angebrachte Wasserwaagen ist, so erreicht man die verticale Stellung dadurch, daſs man die Schrauben W, X, Y, auf ihren festen Unterlagen ein wenig dreht, und dadurch ein Heben oder Senken so lange, bis die Niveau's richtig stehen, bewirkt.

Gegen diese nun vertical stehende Axe hat die Axe MN die feste Lage, welche die Polhöhe des Ortes fordert. Die Figur

Digitized by Google

zeigt eigentlich nur eine der Stangen MN, deren zwei die Gegengewichte bei d tragen, und zwischen denen die eben erwähnte Axe liegt. Diese Gegengewichte sind bestimmt, dem ganzen, jenseits des Stützpunctes liegenden Theile des Instruments das Gleichgewicht zu halten; sie laſsen sich verschieben und dann feststellen, wenn die Aequilibrirung stattfindet. Wenn man diese Axe MN der Welt-Axe parallel stellen will, so muſs man, durch Drehung des ganzen Instruments um die Vertical-Axe ST, jene in den Meridian und das Ende M nach Norden bringen. Wenn diese Stellung einmal berichtigt ist, so wird man wohl am liebsten die verticale Axe vermittelst der dazu bestimmten Schrauben feststellen; wäre es jedoch nöthig, das Instrument in andern Stellungen zu gebrauchen, so kann auch dieses stattfinden, nur würde man Sorge tragen müssen, jene Stellung leicht und genau wieder erhalten zu können.

Wenn MN der Welt-Axe parallel festgestellt ist, so läſst sich das Fernrohr um zwei Axen in Rectascension und Declination fortbewegen. Das Fernrohr wird nämlich erstlich mit dem ganzen daran befestigten Apparate um die Axe MN gedreht, und der Kreis, dessen Rand man rechts von M sieht, giebt die Stunden und Grade an, um wieviel das Fernrohr in gerader Aufsteigung vom Meridiane entfernt ist. Die Drehung des Fernrohrs um diese Axe geschieht theils, indem man die in die Randzähne eingreifende Schraube ohne Ende aushebt, mit freier Hand, theils indem man sie wieder eingreifen läſst, durch die bei R gefaſste Lenkstange, mit welcher man die Schraube ohne Ende fortdreht. So wie das Fernrohr in der Figur dargestellt ist, hat es die Richtung nach dem Nordpole und würde diese behalten, wenn man es auch den ganzen Kreis bei M durchlaufen lieſse. Damit es aber auch jede andre Stellung in Declination erhalten könne, dient zweitens die Axe, welche den Mittelpunct des Kreises O senkrecht trifft. Diese Axe bleibt bei jeder Drehung um die erste Axe stets in der Ebene des Aequators; erhält aber das Fernrohr, um sie gedreht, verschiedene Stellungen, so zeigt der Index auf dem Kreise O die Declination des Parallelkreises an, nach welchem nun das Fernrohr gerichtet ist. Die Drehung wird, ähnlich der vorigen, durch die Lenkstange P bewirkt. Beide Kreise bei O und M geben die Stellung mit Hülfe des Nonius bis auf 20 Sec. im Bogen an. Um einen Stern in der Mitte des Fernrohrs zu haben, stellt man vermöge der Drehung des-

Digitized by Google

selben den Index des Declinationskreises auf die richtige Zahl, berechnet dann für den Augenblick der Beobachtung die Rectascension der Mitte des Himmels und giebt dem Index des Rectascensionskreises die Stellung, welche der Entfernung des Sternes vom Meridian zu jener Zeit gemäſs ist.

Der die Declination angebende Kreis ist mit dem Fernrohre fest geschraubt; seine stählerne Axe geht in einer cylindrischen Fassung bis zu der Stelle, wo man in der Figur die zwei Ringe mit den vielen Löchern sieht. Diese Löcher sind dazu da, um den Schraubenschlüssel einzusetzen, und die Stellung in Declination fester zu stellen, wenn sie etwa locker werden sollte. Eine ähnliche Vorrichtung ist an der Axe der Rectascensionsstellung. Hinter dem Ende jener Axe befindet sich zwischen b und c ein groſses Gegengewicht an die Declinations-Axe angeschraubt, welches sich bei der Drehung in Declination mit drehet, und wohl nicht bloſs bestimmt ist, das Gleichgewicht mit zu bewirken, sondern auch eine gleichförmigere Reibung bei dieser Drehung zu bewirken. Mit der Fassung der Declinations-Axe parallel gehen zwei längere Stangen, deren eine man mit dem an ihrem Ende angebrachten Gegengewichte a in der Figur deutlich sieht, die andre liegt hinter dieser; die von ihnen getragenen Gegengewichte sind vorzüglich bestimmt, das Fernrohr im Gleichgewichte zu halten, und können, damit dieses erreicht werde, in den richtigen Stellungen festgeschraubt werden. Die kleinern Gegengewichte b, c, stehen seitwärts, so daſs die Linie bc senkrecht gegen die durch die Axe und die beiden groſsen Gewichte gelegte Ebene ist; sie dienen, das Gleichgewicht in allen verschiedenen Lagen des Fernrohrs zu berichtigen.

Ist das Instrument fest und parallaktisch aufgestellt, so bedarf es eines Drehdachs, dessen Spalte dahin gebracht wird, wohin man das Fernrohr richten will.

Die Figur zeigt hinreichend, daſs nach den gegebenen Erläuterungen das Fernrohr jede Stellung in Rücksicht auf die Stundenwinkel und in Rücksicht auf die Declination erhalten kann, indeſs giebt es einige Puncte, die nicht wohl beobachtet werden können, weil das Fernrohr nicht bei jeder Declinationsstellung, ohne anzustoſsen, den ganzen Rectascensionskreis durchlaufen kann. Auch die Beobachtungen um das Zenith lassen sich nur unbequem anstellen, da das Ocular sich dann tief

Digitized by Google

gegen das Fuſsgeſtell herabſenkt. Daſs das Fernrohr, indem es den Kreis M durchläuſt, nicht über der verticalen Säule bleibt, ſondern ſich bald an der einen, bald an der andern Seite derſelben befindet, hat bei der guten Aequilibrirung keinen Nachtheil; nur bei ſehr nahen Gegenſtänden müſste man an eine Reduction auf das Centrum denken.

## Gebrauch des Inſtruments.

Obgleich ſchon die Beſchreibung des Inſtruments auch über den Gebrauch desſelben Manches lehrt, ſo muſs ich doch hierüber und über die Berichtigung des Inſtruments ſelbſt noch etwas Genaueres ſagen.

Ich habe bei der Beſchreibung angenommen, daſs die beiden Hälften des Objectivs mit aller Genauigkeit ſo ſtehen, daſs ihre Brennpuncte zuſammen fallen, ſobald man beide auf gleiche Theilſtriche der Scalen ſtellt; aber dieſes iſt nicht immer der Fall, ſondern ſehr oft ſieht man, indem man durch Fortſchrauben der einen Objectivhälfte das eine Bild durch das andre hindurch zu führen ſucht, daſs die Bilder neben einander vorbei gehn, ohne ſich ganz zu decken. Dieſe Unrichtigkeit in der Stellung beider Objectivhälften iſt deſto nachtheiliger, je kleiner die Winkel ſind, die man abzumeſſen gedenkt; denn wenn man z. B. den Sonnendurchmeſſer abmeſſen will, ſo wird die Berührung der Bilder noch ſehr genau richtig zu beobachten ſeyn, wenn auch die Brennpuncte beider Objectivhälften um mehrere Secunden von einander entfernt ſind; aber für die nur 10 oder 15 Sec. betragende Diſtanz zweier Sterne iſt jener Abſtand ſchon eine Gröſse, die die Abſtands-Meſſung und den Stellungswinkel in hohem Grade unrichtig machen würde. Ob dieſes Zuſammentreffen der Brennpuncte ſtattfindet, unterſucht man am beſten, indem man Fixſterne bei Tage oder ſehr feine Lichtpuncte oder dunkle Puncte im Monde beobachtet; bei Nacht haben die Fixſterne ſchon zu viel Glanz um ſich, und geſtatten daher nicht, zu bemerken, ob die Bilder ſtrenge in einen Punct zuſammenfallen. Zur Correction dieſes Fehlers ſind Schrauben an der Faſſung des Objectivs angebracht, durch welche man die Lage der einen Objectivhälfte ſo muſs zu verändern ſuchen, daſs beide Hälften nur einen einzigen Brennpunct haben, und dieſe Berichtigung kann nur dann für alle Puncte der Scale oder für

jede Stellung der Mikrometerschrauben stattfinden, wenn beide Hälften sich genau parallel und so bewegen, daſs ihre beiden Brennpuncte immer in einer Parallele zu dieser Richtungslinie liegen.

Auch auf einen zweiten Fehler, welchen das Instrument haben kann, muſs man achtsam seyn. Obgleich an den Fraunhofer'schen Instrumenten die Sorgfalt, womit die Schrauben geschnitten sind, und die vielen in einander eingreifenden Gänge der Schraube in die Hohlschraube keinen todten Gang zulassen, so kann es doch seyn, daſs beim Anfange einer entgegengesetzten Drehung der Schraube diese nicht im ersten Augenblicke schon anspricht. Eigentlich sollen die beiden Stemmungen, an welche die Schraube sich oben und unten andrängt, so genau die gehörige Entfernung von einander haben, daſs die Schraube auch nicht um das Mindeste gedreht werden kann, ohne die in Bewegung zu setzende Objectivhälfte zu verrücken; aber da es hier auf Hunderttel eines Schraubenganges ankommt, so ist es nicht zu erwarten, daſs die beim Umdrehen nach *einer* Richtung gegen die untere Stemmung gedrängte Schraube sich sogleich, ohne diese um das Geringste zu verlassen, an die obere Stemmung andrängen werde, wenn man die Schraube um etwas weniges nach der entgegengesetzten Richtung dreht. Bemerkt man also, daſs bei diesem Wechsel ein auch noch so kleiner Zwischenraum ist, (und man bemerkt dieses sehr deutlich an dem nicht sogleich eintretenden Fortrücken des einen Bildes relativ gegen das andre,) so muſs man es sich zum Gesetze machen, nie durch ein Fortdrehen nach abwechselnd verschiedenen Richtungen die Bilder in die gehörige Stellung der Deckung oder Berührung zu bringen, sondern allemal bei einer ganzen Reihe von Beobachtungen die Schraube nur nach *einer* Richtung zu drehen, und dieses, wenn die richtige Stellung nahe erreicht ist, so vorsichtig zu thun, daſs man nie über die richtige Stellung hinaus kommen und einer rückgängigen Bewegung bedürfe.

Um die übrigen kleinen Unrichtigkeiten des Instruments genau kennen zu lernen, hat Hansen[1] statt eines bloſsen Fadenkreuzes vier Faden in einen Ocular-Einsatz eingespannt, zwei davon sind in der Richtung des Schiebers, zwei in einer dar-

1 Ausführliche Methode mit dem Fraunhofer'schen Heliometer Beobachtungen anzustellen, von P. A. Hansen. Gotha 1827. S. 12.

Digitized by Google

auf senkrechten Richtung, 20 Sec. von einander entfernt, angebracht; durch sie wird in der Mitte des Gesichtsfeldes ein Faden-Quadrat gebildet, dessen man sich bedienen kann, um über manche, vielleicht stattfindende Fehler Gewiſsheit zu erhalten.

Um zu bestimmen, ob der Brennpunct der einen Objectivhälfte dann, wenn er in der Mitte der Verschiebung durch eine diametral entgegengesetzte Stellung sich nicht nach der Richtung der Verschiebung verrückt, sich auch nicht senkrecht gegen dieselbe verrücke, das ist, ob er mit dem Centrum der Drehung des Objectivs zusammenfalle, giebt man Achtung, ob und wieviel der so gesehene Punct seine Stellung im Faden-Quadrate senkrecht auf die Richtung der Schieber ändert, wenn man das Objectiv um 180 Grade dreht. Hätte sich bei dieser Drehung auch noch eine Veränderung mit der Richtung der Schieber parallel gezeigt, so hätte man noch nicht die Stellung, wo der Brennpunct dieser Objectivhälfte der Axe am nächsten ist; wäre bei der um 180° fortgerückten Stellung des Objectivs der Gegenstand nicht zwischen den mit dem Schieber des Oculars genau parallelen Fäden geblieben, so stände die Verschiebung des Oculars noch nicht parallel mit der des Objectivs, und jene müſste erst berichtigt werden. Die Gröſse dieses kleinsten Abstandes, der sich, wie Hansen bemerkt, nach der Einrichtung des Instruments nicht corrigiren läſst, kann hierdurch auch messend bestimmt werden.

Die Frage, ob die Objectivschieber sich geradlinig bewegen, läſst sich mit der Bestimmung, ob das Null des Stellungswinkels am Objective richtig sey, oder welche Collimation dabei zu berücksichtigen sey, zugleich finden. Nach der Bestimmung des Instruments soll das Null des Positionskreises da stehen, wo die Richtung der Schieber genau der Drehung des Fernrohrs um die Declinations-Axe entspricht. Hat man also die beiden Hälften des Objectivs bedeutend von einander entfernt, so stelle man das Objectiv auf den Stellungswinkel Null, und bringe das eine Bild eines beobachteten Punctes in die Mitte des Faden-Quadrates; man drehe dann das Fernrohr um die Declinations-Axe und sehe, ob auch das andre Bild desselben Punctes genau in die Mitte des Faden-Quadrates zu bringen ist; wäre dieses nicht der Fall, so müſste man das Objectiv ein wenig drehen, bis jene Bedingung, durch alleinige Drehung des Fernrohrs um die De-

clinations-Axe beide Bilder durch denselben Punct des Faden-Quadrats zu führen, erfüllt ist, und die Entfernung von Null, die alsdann der Positionskreis zeigt, wäre der Collimationswinkel. Bewegten sich aber die Schieber nicht geradlinig, so würden bei ungleichen Abständen der zwei Bilder von einander, und bei ungleichen Stellungen der Schieber an ihren Scalen, keine gleich groſsen Collimationen gefunden.

Hansen giebt noch eine Methode an, wie man, auch wenn die Schieber sich nicht parallel bewegen, doch die mit diesem etwas fehlerhaften Instrumente angestellten Beobachtungen gebrauchen kann. Diese nicht parallele Verschiebung zeigt sich dadurch, daſs die Brennpuncte beider Objectivhälften zwar zusammenfallen, wenn man beide auf einen gewissen gleichnamigen Punct der Scale bringt, aber nicht mehr zusammen fallen, wenn man sie beide auf irgend einen andern gleichnamigen Punct
Fig. ihrer Scalen bringt. Da alsdann von jenem Puncte a aus das
73. eine Bild nach b, das andere Bild desselben Gegenstandes nach c gerückt ist, so giebt das Instrument den Abstand desjenigen Punctes im ersten Bilde, den c jetzt bedeckt, nur = bf an, wenn af = ac ist, statt daſs dieser Punct doch wirklich um den Bogen bc von b entfernt ist, und man müſste aus bf mit Hülfe des Winkels bac erst bc berechnen. Damit man dieses könne, muſs man die Collimation das eine Mal bestimmen, wenn die Schieber auf den Zahlen b und c stehen, und das andere Mal, wenn sie die gleichen Zahlen d = b, f = c. aber vertauscht, zeigen; es erhellet, daſs das Mittel dieser Collimationen die der Linie ga entsprechende Collimation giebt; und zugleich der Winkel geb hiedurch bestimmt ist. Die umständlichere Anleitung, aus mehrern Beobachtungen die genaue Bestimmung der Lage des Punctes a und des Winkels bac zu erhalten, giebt Hansen [1], aus dessen belehrender Darstellung ich nur die Grundlagen der einzelnen Bestimmungen ausgehoben habe; die Untersuchungen über die Berichtigung des Stundenkreises und Declinationskreises und der ganzen parallaktischen Aufstellung glaube ich hier übergehen zu dürfen; da sie nicht das Heliometer allein angehen. Daſs man, wenn bei den vorhin erwähnten Beobachtungen ein nicht sehr entfernter Gegenstand beobachtet wurde, auf die Parallaxe Rücksicht nehmen muſs, die daraus

1 S. 19. ff.

Digitized by Google

entsteht, daſs des Fernrohrs Axe eine Bewegung um den eigentlichen Mittelpunct der Stellungen hat, brauche ich wohl nur obenhin zu erwähnen.

Nach dem Bisherigen wird der Abstand zweier Puncte von einander nur durch Theile der Scale angegeben; es ist daher vor allem nöthig, den Werth dieser Theile in Secunden auszudrükken. Hierzu könnte am einfachsten die Messung eines Gegenstandes von bekanntem scheinbarem Durchmesser dienen, indem diese sogleich die Vergleichung der Anzahl von Theilen mit der Anzahl von Secunden darböte. Dabei besteht jedoch einige Schwierigkeit in der Bestimmung der scheinbaren Gröſse eines Gegenstandes durch andre Mittel, denn wäre es ein Gegenstand auf der Erde, so müſste man mit sehr groſser Schärfe seinen wahren Abstand und wahren Durchmesser wissen; oder auch diese mit groſser Schärfe durch ein Winkel messendes Instrument bestimmen; wäre es der Sonnendurchmesser, so ist es bekannt, daſs dieser durch ungleiche Fernröhre nicht immer ganz genau gleich gefunden wird, und ebenso lassen Sternabstände, wenn man absolute Genauigkeit fordert, wohl noch etwas zu wünschen übrig. Auf Bessel's Rath habe ich mich zu Bestimmung der Theile des Heliometers, welches die Breslauer Sternwarte besitzt, einer Vergleichung der mit dem Heliometer gemessenen, auf die mittlere Entfernung der Sonne reducirten Sonnendurchmesser mit den aus Bessel's Beobachtungen gefundenen Werthen derselben bedient, und einen Theil der Scale $=57'',39$ gefunden[1]. Hansen findet durch eine andre Methode, die ich sogleich erwähnen will, bei seinem Instrumente $57'',336$.

Die Methode, deren Hansen sich bedient hat, um die Gröſse der Theile zu bestimmen[2], ist auf eine Methode von Gauss[3], die Abstände der Fäden in Fernröhren zu bestimmen, gegründet. Diese Methode beruht auf der Ueberlegung, daſs die Strahlen, welche von einem im Brennpuncte des Objectivs eines Fernrohrs liegenden Puncte ausgehen, jenseits des Objectivs unter sich parallel sind, und daſs die von verschiedenen Puncten kommenden Strahlen, wenn jene alle dem Brennpuncte nahe liegen, nach ihrem Durchgange durch das Objectiv gegen

1 Astr. Jahrb. 1824. S. 162.
2 A. a. O. S. 79.
3 Astr. Nachr. II. S. 371.

Digitized by Google

einander so geneigt sind, wie die von jenen Puncten gegen den Mittelpunct des Objectivs gezogenen Linien. Wären die Fäden im Brennpuncte eines Objectivs von groſser Brennweite, nicht so bedeutend entfernt von einem jenseits des Objectivs stehenden Auge, so sähe ein fernsichtiges Auge sie, vermöge der dasselbe erreichenden parallelen Strahlen, deutlich; die Feinheit der Fäden erlaubt dieses freilich nicht, aber ein vor dem Objectiv jenes Fernrohrs aufgestelltes zweites Fernrohr dient zur Betrachtung der Fäden im ersten Fernrohre ebenso gut, wie zur Betrachtung sehr entfernter Gegenstände, und ein Beobachter, welcher durch des zweiten Fernrohrs Ocular gegen das Objectiv des ersten Fernrohrs sieht, erblickt, wenn die Axen beider Fernröhre eine gerade Linie ausmachen, und das erstere mit seinem Oculare gegen den hellen Himmel oder sonst einen hellen Gegenstand gerichtet ist, jene Fäden deutlich und unter einem hinreichend groſsen Sehewinkel. Die scheinbare Gröſse des Abstandes dieser Fäden läſst sich also ebenso wie ein anderer kleiner Winkel mit einem Winkel-Instrumente abmessen, und dieses ist das Mittel, dessen sich Gauss zur Bestimmung der Faden-Abstände bedient.

Daſs eben die Methode anwendbar ist, um den Werth der Scalentheile am Heliometer zu finden, ist leicht zu übersehen. Da nämlich die Axen beider Objectivhälften, auch wenn sie um eine groſse Anzahl Mikrometertheile von einander abstehen, doch parallel sind, so sieht man im zweiten Fernrohre das doppelte Bild, welches ein in dem Brennpuncte der einen Hälfte, also immer auch nahe am Brennpuncte der andern Häfte im Heliometerfernrohre ausgespannter Faden giebt. Stellt man also die eine Objectivhälfte in die Mitte der Scale, wo ihr Brennpunct fast ganz genau mit dem in der Mitte des Feldes befindlichen Faden zusammentrifft, die andre Hälfte aber um ziemlich viele Scalentheile von der Mitte entfernt, läſst dann das gegen den Himmel gerichtete Ocular des Heliometerfernrohrs hinreichendes Licht auf den Faden werfen, (wobei es auf die genaue Stellung des Oculars nicht ankommt), so kann man mit einem zweiten, an einem winkelmessenden Instrumente angebrachtem Fernrohre, den scheinbaren Abstand jener zwei Bilder messen, und indem man die Zahl der Mikrometertheile damit vergleicht, hat man den Werth dieser Theile. Zu bemerken ist noch, daſs man, weil die Stellung der einen Objectivhälfte keine Mikro-

metertheilung hat, die Beobachtung zweimal bei zwei verschiedenen Stellungen der mit einer zu Ablesung der Hunderttel dienenden Scheibe versehenen Objectivhälfte anstellen muſs.

Nach HANSEN's Formeln [1] erhält man in völliger Strenge den Werth eines Theils

$$R = 206265''.\left\{\frac{-(S'''-S')+\sqrt{[(S'''-S')^2+16(S-S')(S''-S)\text{Tang.}^2\tfrac{1}{2}(a+a')]}}{4(S-S')(S''-S)\text{Tang.}\tfrac{1}{2}(a+a')}\right\}$$

Hierbei ist vorausgesetzt, daſs die Positionskreise des Objectivs und Oculars gleich gestellt sind, daſs a der bei der ersten, a' der bei der zweiten Beobachtung gemessene Winkel ist, S die Stellung des Ocularschiebers, S'' die Stellung des Objectivschiebers ohne Mikrometerschraube angiebt, und S', S''' die bei den beiden Beobachtungen gefundenen Stellungen der genau abzulesenden Mikrometerschraube. Will man sich mit einer Annäherung begnügen, so giebt diese Formel

$$R = \frac{206265''.\ 2.\ \text{Tang.}\ \tfrac{1}{2}(a+a')}{S'''-S'}$$

oder da $206265'' = 57^\circ\, 17'\, 45''$ nichts anderes als der Halbmesser ist, und hier Tangente und Bogen verwechselt werden dürfen $R = \frac{a+a'}{S'''-S'}$, die sich von selbst darbietende Regel, daſs man die Summe der nach beiden Seiten von der Mitte gefundenen Winkel mit der Differenz der Angaben an der Scale dividiren muſs. Die Gründe, auf welchen jene strengere Formel beruht, muſs ich hier übergehen, da ich sonst einen groſsen Theil der Rechnungen, welche HANSEN's Abhandlung mittheilt, abschreiben müſste [2].

LAMBERT's Vorschlag, sich auf eine leichte und wohlfeile Weise ein Heliometer zu verschaffen, hat zwar bei dem jetzigen Zustande der Wissenschaft keinen erheblichen Werth mehr, indem an groſse Genauigkeit dabei nicht zu denken ist, doch mag sie mit wenigen Worten erwähnt werden. LAMBERT lieſs ein Brillenglas von 10 Zoll Brennweite mitten entzwei schnei-

1 S. 80.

2 Zur Litteratur dieses Gegenstandes gehören noch die Abbildungen und Beschreibungen des von BOUGUER vorgeschlagenen Heliometers in LALANDE Astr. §. 2483. u. eines ähnlichen von DOLLOND vorgeschlagenen zu Spiegelteleskopen §. 2488. Ferner die Abhandl. von HALLENCREUTZ und INSULIN de micrometro objectivo, Upsala 1767. 4. und KÄSTNER's astron. Abhandl. 2. Sammlg. S. 372.

den, und beide Hälften in solche Schieber, wie oben erwähnt ist, fassen; ein Ocular von 1¼ Zoll Brennweite vollendete das Fernrohr. Er konnte diese beiden Objectivhälften bis zu 15 Lin. von einander entfernen, und diese Entfernung machte einen Winkel von 7 Graden aus. Welche Genauigkeit sich auf diese Weise bei 7 maliger Vergröſserung erhalten lieſs, läſst sich leicht übersehen[1]. *B.*

# Helioskop.

## *Helioscopium*, Hélioscope.

Ein Instrument zur Beobachtung der Sonne. Unter diesem Namen beschreibt Scheiner[2] das von ihm zur Beobachtung der Sonne angewandte Fernrohr, das aus Linsen von farbigem Glase geschliffen, zusammen gesetzt war. Es war ein aus einem convexen Objectiv und concaven Ocular zusammen gesetztes Fernrohr, wo allenfalls auch noch ebene farbige Gläser sich zwischen den Linsen eingesetzt befanden. Er bemerkt, man könne auch ein gewöhnliches Fernrohr gebrauchen und bloſs farbige ebene Gläser zwischen dem Objective und Oculare einsetzen. Sodann beschreibt Scheiner unter dem Titel *machina helioscopica*[3] eine Einrichtung, um das Bild der Sonne hinter einem Fernrohre auf einer weiſsen Tafel aufzufangen. Dieses Bild zu erhalten, wird ein gewöhnliches holländisches oder auch astronomisches Fernrohr etwas weiter herausgezogen, als zum Beobachten entfernter Gegenstände nöthig ist, und dann gegen die Sonne gerichtet; hinter dem Fernrohre ist in der angemessenen Entfernung eine mit Papier überzogene Tafel aufgestellt, die das Bild aufnimmt, das man auf concentrisch gezeichnete Kreise, um die Flecken ihrer Stellung nach zu bemerken, auffallen läſst. Es bedarf wohl keiner umständlichen Erklärung, warum man hier ein Bild der Sonne auf dem Papiere erhält. Das gegen die Sonne gekehrte Objectiv bringt in seinem Brennpuncte ein Bild der Sonne hervor, und beim astronomischen Fernrohre gehen von diesem die Strahlen ganz wie von einem wirklichen Gegenstande aus

---

1 Lambert Beitr. zum Gebrauch der Math. 3ter Th. S. 221.

2 Rosa Ursina, sive Sol ex admiranda facularum et macularum suarum phaen. varius ostensus a Chr. Scheiner. Bracciani 1626. p. 70.

3 Ebend. p. 77.

Digitized by Google

und fallen auf das Ocular; da aber das Ocular weiter herausgezogen ist, so liegt jenes Bild weiter als der Brennpunct des Oculars von diesem entfernt und die von jenem ausgehenden Strahlen geben ein Bild jenseits des Oculars, das man gröſser oder kleiner erhalten kann, je nachdem man das Ocular minder oder mehr vom Objective entfernt. Dadurch kann man denn auch bewirken, daſs das Sonnenbild genau einen auf der Tafel vorgezeichneten Kreis ausfüllt. Damit das so erhaltene Bild gut sichtbar sey, fängt man es entweder im ganz verdunkelten Zimmer auf, oder bringt einen Schirm um das Fernrohr an, in dessen Schatten sich jenes helle Sonnenbild besser auszeichnet.

Hevel hat das ganze dabei zu beobachtende Verfahren noch umständlicher beschrieben[1], und Kaestner giebt[2] eine Berechnung über die Gröſse des Bildes aus den Abmessungen des Fernrohrs und dem Abstande der Tafel. Diese Gröſse findet man leicht nach den Regeln, wie man die Gröſse der Bilder bei Linsengläsern überhaupt berechnet. Kaestner führt noch einige andere Verbesserungen hierbei an, die wohl jetzt, da man genaue Beobachtungen fordert, keine Wichtigkeit mehr haben.

*B.*

## Heliostat.

*Heliostata;* Héliostat. Ein von s'Gravesande erfundenes Instrument, um das Sonnenbild unveränderlich auf einen Punct zu werfen, oder wie er es ausdrückt, *heliostata, qua radii solares firmantur.* Es ist nämlich eine sehr bekannte Unannehmlichkeit, die alle optische Untersuchungen, bei welchen man den Sonnenstrahl gebraucht, sehr erschwert, daſs dieser ins dunkle Zimmer einfallende Sonnenstrahl jeden Augenblick eine andere Richtung annimmt, oder das Sonnenbild, welches man an einem bestimmten Puncte zu beobachten wünscht, seinen Ort immer verändert. Um diese Unbequemlichkeit zu heben, dient zwar ein Spiegel, der durch zwei Schrauben eine so veränderte Stellung erhalten kann, wie es das Fortrücken der Sonne fordert, — eine Einrichtung, die ich am Schlusse dieses Artikels näher beschreiben werde, — aber ein Uhrwerk, durch dessen Hülfe der Spiegel von selbst der Sonne folgt, ist ungleich

1 Hevelii Selenographia Proleg. p. 97.

2 Astron. Abh. 2. Sammlung S. 362.

Digitized by Google

bequemer, und darin besteht der Vorzug des Heliostaten, den ich jetzt, nach s'Gravesande und Biot[1] beschreiben will.

Es erhellet schon aus dem eben Gesagten, daſs ein ebener Spiegel und ein Uhrwerk die beiden Hauptbestandtheile des Heliostaten ausmachen. Der Spiegel, der, um die doppelten Bilder der Glasspiegel zu vermeiden, ein Metallspiegel seyn muſs, steht auf einem eignen Fuſse P, und erhält eine Drehung um zwei auf einander senkrechte Axen, damit er jede Stellung anzunehmen geeignet sey. Eine dieser Axen, die verticale nämlich, PC, ist in dem hohlen Cylinder, der sich auf dem Fuſsgestelle befestigt senkrecht erhebt, frei beweglich eingeschlossen; sie trägt bei C einen Bügel, in welchem die Schrauben a, a, befestigt sind, welche eine in der Ebene des Spiegels MM liegende horizontale Axe darbieten, um welche der Spiegel gleichfalls frei beweglich ist. Dieser Spiegel ist fest verbunden mit einer Richtungsstange (*cauda*, queue du miroir,) cQ, welche am Spiegel senkrecht gegen die Ebene des Spiegels befestigt ist, und die durch das Uhrwerk in die gehörige Bewegung gesetzt wird. Sie ruht gegen ihr Ende hin auf einer Gabel FF, deren cylindrischer Ansatz qq sich in der cylindrischen Höhlung der gleich zu erwähnenden Leitstange frei drehen kann. Die Figur zeigt schon, daſs, während so die ganze Gabel eine Drehung um die Axe qq erhalten kann, für die Richtungsstange noch eine zweite Drehung um die Axe bb statt findet, und daſs diese auf die Richtungsstange senkrechte Axe bb stets in einer auf qq senkrechten Ebene liegt. Aber diese Axe bb ist nicht mit der Richtungsstange selbst fest verbunden, sondern sie ist mit einer cylindrisch gebohrten Röhre tt so verbunden, daſs sie gegen die Axe dieses Cylinders senkrecht befestiget ist; in diese cylindrische Höhlung paſst genau die cylindrische Richtungsstange cQ und während diese darin verschoben, und auf einen willkürlichen Punct gestellt werden kann, erhält sie zugleich die beiden auf einander senkrechten Bewegungen, welche vermöge der Drehungen um beide Axen, qq, und bb möglich sind.

Fig. 74.

Hierdurch ist die Zusammenfügung der Theile, welche mit dem Spiegel verbunden sind, vollkommen klar, und es erhellet auch, daſs durch die Bewegung der Leitstange RD, in deren

---

1 Physices elem. math. auct. s'Gravesande. p. 715. Biot Traité de Phys. Tome III. p. 175.

Höhlung die Axe qq ihren Drehpunct findet, die Richtungsſtange des Spiegels und dieser ſelbst, in alle mögliche Lagen gebracht werden kann; die Geſetze der Bewegung ſelbst erfordern aber eine etwas ſorgfältigere Ueberlegung. Der Zweck des ganzen Instruments ist, daſs der reflectirte Sonnenstrahl, den ich immer als aus der Mitte des Spiegels hervorkommend anſehen werde, eine völlig unveränderte Lage behalte, während die Sonne ihren Parallelkreis am Himmel durchläuft. Der Spiegel muſs alſo ſo um dieſen feststehenden reflectirten Strahl gedreht werden, daſs die auf den Spiegel ſenkrechte Linie oder die jenſeits des Spiegels verlängerte Richtungsſtange den zwiſchen jenem feststehenden Strahle und dem Sonnenstrahle eingeſchloſſenen Winkel halbire. Daſs wir dabei die Sonne als einen genauen Parallelkreis des Aequators durchlaufend anſehen, und auf die kleine Abweichung von demſelben, die vermöge ihrer ſich stündlich ändernden Declination statt findet, nicht ſehen, bedarf wohl kaum einer Erwähnung.

Es läſst ſich nun leicht zeigen, erstlich daſs die Leitſtange DR ihre Bewegung in der Ebene des Aequators vollenden muſs, zweitens daſs ſie stets in der Richtung ſtehen muſs, welche der Schatten eines in ihrem Drehungsmittelpuncte ſenkrecht gegen die Ebene des Aequators errichteten Stiftes DE angiebt.

Um dieſes zu zeigen, bemerke ich zuerst, daſs der Punct des Röhrchens tt, welcher in der Axe bb der Gabel liegt, allemal gleich entfernt von der Ebene bleibt, in welcher die Leitſtange ſich bewegt, und stets ſenkrecht über dem Endpuncte der Leitſtange; durchläuft alſo der Endpunct der Leitſtange einen Kreis mit der Ebene des Aequators parallel, ſo durchläuft jener Punct der Axe bb einen eben ſolchen Kreis; — ich will dieſen Punct die Mitte der Gabel nennen. Es ſtelle C′ den Mittelpunct vor, um welchen dieſe Mitte der Gabel ſich mit dem Aequator parallel bewegt, und C′P ſey ein gegen dieſe Ebene ſenkrechter Stift, gerade ſo hoch, daſs ſeines Endpunctes Schatten auf K fällt; dieſer Schatten durchläuft, während des Tags einen um C′ gezogenen Kreis, weil die Declination der Sonne ſich nicht merklich ändert, und man kann alſo die Leitſtange ſo fortdrehen, daſs der Endpunct jenes Schattens immerfort auf die Mitte der Gabel fällt, indem nämlich dieſes geſchieht, wenn die Leitſtange stets genau ſo fortrückt, wie der Schatten des Stiftes. Wenn nun c der Mittelpunct des Spiegels MM ist, ſo Fig. 75.

stellt cK die Richtungsstange vor, welche allezeit in der Mitte der Gabel bei K festgehalten wird, wenn sie gleich nicht immer mit demselben Puncte in der Gabel ruhend bleibt. Hat man nun die Stellung des Spiegels so gewählt, daſs cP = PK ist, oder der Abstand der Mitte des Spiegels von der Spitze des Stiftes eben so groſs, als der Abstand dieser Spitze von der Mitte der Gabel, dieser aber der gerade jetzt stattfindenden Länge des Schattens gemäſs ist, so liegt der zurückgeworfene Strahl in der verlängerten Pc, wenn PK der Sonnenstrahl ist. Denn im gleichschenklichen Dreieck ist PcK = PKc, und da die Richtungsstange cK mit dem Einfallslothe für den auf den Spiegel fallenden Sonnenstrahl zusammentrifft, so bleibt der zurückgeworfene Sonnenstrahl immer in der verlängerten Pc, so lange der Mittelpunct der Scheibe, um welche die Leitstange sich dreht, gegen den Mittelpunct des Spiegels seine Lage unverändert behält. Die Richtungsstange muſs dann freilich in der Röh-
Fig. 74. re tt so hin und her geschoben werden, oder vielmehr sich beim Fortführen der Leitstange selbst fortschieben, wie es die
Fig. 75. veränderliche Gröſse der Winkel in dem Dreiecke cPK fordert.

Diese Darstellung scheint mir völlig genügend, um zu beweisen, daſs man, nachdem die Stellung einmal so gefunden ist, nur nöthig hat, mit der Leitstange der Bewegung des Schattens, den C′P wirft, zu folgen, oder die Leitstange gleichförmig um den unter C′ liegenden Mittelpunct zu drehen, um den Sonnenstrahl immer in die feste Stellung zurückzuwerfen, die mit der verlängerten PC′ zusammenfällt; es kommt also nur noch darauf an zu finden, wie man den Heliostaten leicht in die erforderliche Stellung bringt, indem das Uhrwerk die gehörige Fortführung der Stange dann leicht besorgt. Hierbei erhellet zuerst von selbst, daſs das Uhrwerk so aufgestellt seyn muſs, daſs die
Fig. 74. Scheibe, auf welcher die Leitstange DR fortgeführt wird, der Ebene des Aequators so genau als möglich parallel sey, und daſs die Uhrscheibe, die zugleich eine Sonnen-Uhr ist, wenn in D ein auf den Aequator senkrechter Stift DE angebracht worden, richtig orientirt sey. Damit nun der in D errichtete Stift den Schatten seiner Spitze genau auf die Mitte der Gabel oder auf den festgehaltenen Punct der Richtungsstange werfe, müſste die Höhe des Stiftes = A + R. Tang. d seyn, wenn A die senkrechte Höhe der Mitte der Gabel über der Leitstange, R die Länge der Leitstange und d die Declination der Sonne bedeutet.

Digitized by Google

Aus dem Vorigen erhellt aber auch ſchon, daſs die Mitte des Spiegels von der Spitze des ſo angeordneten Stiftes um R. Sec. d entfernt ſeyn muſs, indem C′P = PK = R Sec. d iſt, wenn C′K = R und PKC′ = d iſt. Hiernach muſs alſo die Stellung des Spiegels gewählt werden, wozu s'Gravesande ſich eines eignen Hülfs-Inſtruments bediente, welches er *Poſitor*, die Stellregel, nannte. Dieſe wird auf den Fuſs des Spiegels aufgeſetzt, und iſt ſo abgemeſſen, daſs der Punct X genau mit dem Puncte übereinſtimmt, welcher bei Aufſtellung des Spiegels den Durchſchnittspunct der Richtungsſtange mit der Oberfläche des Spiegels einnimmt. Um dieſen Punct X aber iſt das Lineal YZ, deſsen eine Hälfte ſich durch Verſchiebung eines in einer Nuthe gehenden Theiles verlängern oder verkürzen läſst, in verticaler Richtung, um die horizontale Axe X beweglich. Indem man nun dem Arme XZ die eben berechnete Länge = R Sec. d giebt, und den Fuſs der Stellregel ſo verrückt, daſs theils die Entfernung von X bis zur Spitze des Stiftes die verlangte, durch die Länge des Armes XZ angegebene ſey, theils die Lage dieſes Armes eine ſolche, wie man den reflectirten Strahl zu erhalten wünſcht, ſo iſt alles vorbereitet, um den Spiegel an den Ort der Stellregel zu bringen, ihn mit ſeiner Richtungsſtange gehörig auf die Gabel und dieſe auf die Leitſtange zu bringen. Da indeſs das Verſchieben des Spiegelfuſses oder auch der Uhr einige Unbequemlichkeit mit ſich führt, ſo hat Charles noch eine Verbeſserung angebracht, die dieſe Verſchiebungen erleichtert und alles unſichere Probiren unnöthig macht. Fig. 75. Fig. 76.

Auf dem Fuſsgeſtelle des Uhrwerks iſt eine Linie FF gezogen, die ein für allemal in den Meridian gebracht wird. Da man der Ebene, in welcher die Leitſtange DR ſich bewegt, mit Hülfe eines angebrachten Gradbogens die richtige, der Aequatorhöhe angemeſsene, Neigung geben kann, ſo iſt dann die Bewegung der Leitſtange völlig berichtiget, und der Fuſs des Spiegels muſs jedesmal auf die richtige Stellung gebracht werden. Damit dieſes geſchehe, iſt erſtlich in die Fuſsplatte, auf welcher der Fuſs des Uhrwerks ruht, eine durch die Schraube f nach der Richtung des Meridians verſchiebbare Schiene eingelaſsen, die man jedesmal ſo ſtellt, daſs ihr Endpunct ſich genau ſenkrecht unter der Spitze des Stiftes E befindet, der ſo hoch als die Declination der Sonne es gerade an dem Tage der Beobachtung fordert, über der Ebene der Aequatorealſcheibe hervorragt; dieſe Fig. 74.

Stellung läſst sich berechnen, da sie aus der für die gegebene Declination berechneten Höhe des Stiftes, wenn man die Projection derselben auf die horizontale Ebene sucht, unmittelbar folgt. In dem Endpuncte dieser Schiene befindet sich zweitens der Drehungspunct eines andern auf dem horizontalen Boden aufliegenden Stückes G, in welches der Fuſs des Spiegels eingelassen ist. Man kann diesen Fuſs in einer Nuthe, die auf jenem Stücke eingeschnitten ist, vermittelst einer Schraube hin und her bewegen, und wenn man die Neigung gegen den Horizont, die man dem reflectirten Strahle zu geben gedenkt, bestimmt hat, die Entfernung dieses Fuſses so groſs nehmen, wie es die horizontale Projection der von der Spitze des Stiftes zur Mitte des Spiegels gezogenen Linie fordert. Bei der Drehung dieses den Spiegelfuſs tragenden Stückes um die Projection der Spitze E des Stiftes DE auf den Boden bleibt die horizontale Projection jener zwischen der Mitte des Spiegels und der Spitze des Stiftes gezognen Linie stets gleich lang, und wenn man vermittelst der Stellregel die Höhe aufsucht, die der Mitte des Spiegels zukommt, so kann man dem zurückgeworfenen Strahle jede willkürliche Richtung anweisen. Hat man diese Richtung einmal für die zu unternehmende Beobachtung gewählt, so wird der Spiegelfuſs festgeschraubt, und die Richtungsstange in die Gabel, diese aber in die Leitstange eingelegt, und auf die der Zeit angemessene Theilung der im Aequator liegenden Scheibe gebracht, wo dann das die Leitstange in 24 Stunden herumtreibende Uhrwerk das Uebrige bewirkt.

Will man die zu der eben angegebenen Stellung erforderlichen Maſse in Formeln ausdrücken, so ist auch das sehr leicht. An der Linie, an welcher jene erste Schiene anliegt, müssen gleiche Theile aufgetragen seyn, und am besten ist es, den Punct als Nullpunct zu bemerken, über welchem senkrecht die Spitze des Stiftes E zur Zeit der Aequinoctien, das ist, dann, wenn er die Länge = A hat, stehen muſs. In jedem andern Falle, wo von diesem Puncte an die horizontale Projection des Theiles, welcher = R Tang. d ist, aufgetragen werden muſs, erhält man diese = R Tang. d Cos. $\triangle$, wenn $\triangle$ die Polhöhe des Ortes ist, und diese muſs nordwärts oder südwärts von jenem Anfangspuncte an aufgetragen werden, je nachdem die Declination d der Sonne nördlich oder südlich ist. Damit ist die Lage des Drehungspunctes, um welchen der Spiegelfuſs sich be-

Digitized by Google

wegen soll, gegeben; da aber die Mitte des Spiegels von der Spitze des Stiftes um R. Sec. d entfernt seyn muſste, so ist, wenn die geforderte Neigung des Strahls $=$ i heiſst, die horizontale Projection dieser Länge $=$ R. Sec. d. Cos. i und hiernach würde an der vom Drehungspuncte an aufgetragenen Theilung die Stellung der Mitte des Spiegelfuſses zu bestimmen seyn. Die Höhe des Spiegels lieſse sich dann auch berechnen, wenn man sie nicht erst durch Höherschrauben und Tieferschrauben vermittelst der Stellregel aufſuchen will. Heiſst nämlich B die verticale Höhe des Stiftes zur Zeit der Nachtgleiche, so ist die Höhe der Spitze des Stifts allgemein $=$ B $+$ R. Tang. d. Sin. $\triangle$, und die verticale Projection der zwischen der Mitte des Spiegels und der Spitze des Stifts gezogenen Linie $=$ R. Sec. d . Sin. i also die Höhe der Mitte des Spiegels $=$ B $+$ R. Tang. d. Sin. $\triangle$ $+$ R. Sec. d. Sin. i. Da der Fuſs des Spiegels doch so eingerichtet seyn muſs, daſs man den Mittelpunct des Spiegels vermittelst einer Schraube höher oder tiefer stellen kann, so kann man dann auch eine Scale zum Ablesen dieser leicht zu berechnenden Höhe anbringen. Diese verschiedenen Scalen würden am besten in Zehntel und Hunderttel von R, der Länge der Leitstange, eingetheilt.

---

Da der Heliostat ein theures Instrument ist, und überdieſs nicht überall ein Platz zu seiner Aufstellung sich so bequem findet, daſs man ihn immer an seinem Platze lassen könnte, so bedient man sich gewöhnlich einer viel einfachern Vorrichtung, um den Sonnenstrahl durch Zurückwerfung in eine zu Beobachtungen passende Lage zu bringen. Man richtet den Spiegel, durch welchen man den Lichtstrahl in das dunkle Zimmer bringen will, so ein, daſs er neben der Oeffnung, wo der Lichtstrahl hereindringen soll, angeschraubt werden kann, und giebt ihm eine doppelte Bewegung vermittelst Stellschrauben. Es wird nämlich an den Fensterladen, in welchem die Oeffnung zum Einlassen des Lichtstrahls befindlich ist, eine starke viereckige Messingplatte angeschraubt, in deren Mitte ein kreisförmiges Stück von etwa 3 Zoll Durchmesser so ausgeschnitten ist, daſs es sich leicht in dem übrigen Theile der Platte drehen läſst. Eine in die Randzähne der Scheibe eingreifende Schraube ohne Ende bewirkt diese Drehung so, daſs jene ausgeschnittene Schei-

Digitized by Google

be in ihrer Höhlung jede willkürliche Stellung annehmen kann. Dieses kreisförmige Stück hat in seiner Mitte die Oeffnung, die den Lichtstrahl einlassen soll, und an dem Rande desselben ist mit einem Charnier ein Spiegel so befestigt, daſs er sehr verschiedene Neigungen gegen die Messingplatte, also auch gegen den Fensterladen, annehmen kann. Indem man nun diesen Spiegel an diejenige Seite der Kreisscheibe stellt, wo seine Mitte mit der Sonne und der Oeffnung in einer Ebene ist, und wo dann von selbst schon diese Ebene gegen die Spiegelfläche senkrecht ist, und mit Hülfe einer zweiten in ein gezahntes Rad eingreifenden Schraube die Neigung des Spiegels passend bestimmt, so erhält man einen durch die Oeffnung in das Zimmer geworfenen reflectirten Strahl, und kann durch leise, aber oft wiederholte Fortrückung beider Schrauben den Sonnenstrahl in einer sehr nahe unverrückten Lage erhalten. Man hat dabei nur freilich die groſse Unbequemlichkeit, die zwei Schrauben selbst bewegen zu müssen, die bei dem Heliostaten vermittelst eines Uhrwerks bewegt werden. *B.*

## Heliotrop.

*Heliotropium.* Ein Instrument, welches die Sonne wendet[1], nämlich den Sonnenstrahl einem entfernten Beobachter zuwirft. Dieses von Gauss erfundene Instrument ist dazu bestimmt, bei groſsen geodätischen Operationen die sonst so schwierigen Signale auf entfernten Standpuncten zu ersetzen. Es ist nämlich bekannt, daſs man bei trigonometrischen Messungen eines ganzen Landes, oder bei Gradmessungen gern groſse Dreiecke durch Winkelmessung bestimmt; aber eben so bekannt ist es, daſs es nicht wenig Schwierigkeit hat, in gröſseren Entfernungen Signale zu errichten oder Signale momentan zu geben, die zur Beobachtung recht geeignet wären. Daſs aufgerichtete Stangen in der Entfernung von mehreren Meilen selbst durch Fernröhre nicht mehr sichtbar bleiben oder wenigstens selbst in mäſsiger Entfernung bei einer irgend getrübten Heiterkeit der untern Luft undeutlich werden; daſs selbst gröſsere, als Signale aufgerichtete oder benutzte Gegenstände, wenn sie gleich kenntlich bleiben, doch keine so präcise bestimmte Puncte, wie man

1 Von ἥλιος die Sonne und τρέπω ich wende.

Digitized by Google

es bei sehr genauen Bestimmungen wünscht, der Beobachtung darbieten, ist bekannt.

Die Unsicherheit, die man empfindet, wenn man Thürme und ähnliche Gegenstände als Zielpuncte anwenden will, wird noch dadurch vermehrt, daſs ungleiche Beleuchtung bald die eine, bald die andere Seite lebhafter zeigt, und also der Punct, den man für ihre Mitte hält, oder den man als ihre Grenze zu erkennen glaubt, nicht immer einer und derselbe ist. Ueberdieſs müssen ja diese Puncte von mehrern Orten aus beobachtet werden, und man wünscht wieder von dem Puncte aus zu beobachten, welcher Zielpunct der andern Beobachtung gewesen ist. Blickfeuer, die bei nicht erheblichem Durchmesser glänzend genug sind, um in weiter Ferne gesehen zu werden, bieten allerdings bessere Winkelpuncte für die abzumessenden Dreiecke dar; aber sie sind immer auf kurze Zeitmomente beschränkt, sie sind kostbar, und ihre Beobachtung kann durch Zufall vereitelt werden, so daſs auch sie nicht immer den Wünschen des Geodäten Genüge thun. Diese, auch bei der Gradmessung im Königreich Hannover fühlbar werdende Schwierigkeit brachte Gauss auf den Gedanken, das Sonnenlicht selbst statt der Blickfeuer zu benutzen. Es ist eine bekannte Bemerkung, daſs man den Widerschein der Sonne von spiegelnden Dachbelegungen oder von Fensterscheiben, selbst in groſser Entfernung noch mit lebhaftem Lichte sieht, und wenn man hieran die Bemerkung knüpft, daſs das Sonnenlicht, wenn es gleich bei der Zurückwerfung vom Spiegel eine sehr bedeutende Schwächung erleidet, doch immer noch eine Intensität besitzt, die alle künstlichen Erleuchtungsmittel bei weitem übertrifft, so bedurfte es gerade keines mühsamen Beweises, daſs man das zurückgeworfene Sonnenlicht wohl als Signal gebrauchen könnte. Aber es fehlte uns an einem Instrumente, welches geeignet war, von dem Puncte aus, den man zu bestimmen wünschte, nach dem Puncte hin, wo der Beobachter sich mit seinem Winkelmesser befand, den Lichtstrahl eines Spiegels hin zu werfen, und dieses ist es, was durch den Heliotropen erreicht wird.

Die Theorie dieses Instruments ist höchst einfach. Wenn zwei Spiegel-Ebenen e f und c d auf einander senkrecht befestigt sind, so daſs f h c, f h d rechte Winkel sind, so stelle man das Fig. 77.
Fernrohr a b so auf, daſs man den Punct i, welchem man den Sonnenstrahl zuwerfen will, in der Mitte des Fernrohres sieht,

und drehe beide Spiegel so, daſs der Sonnenstrahl aus dem Spiegel fe ins Fernrohr geworfen werde, oder mit der Richtung ha zusammenſalle; dann wirft der andre Spiegel cd den Sonnenstrahl nach i. Denn wenn Sh den directen Sonnenstrahl vorstellt, und ha den reflectirten Strahl, so sind die Winkel am Einfallslothe gleich, Shc = ahc, aber da ahc und dhi als Scheitelwinkel gleich sind, so ist Shc = dhi und der von ch reflectirte Sonnenstrahl gelangt nach i.

## Beschreibung des Instruments.

Die Einrichtung des Instruments wird sich nun, den Haupt-
Fig. 78. theilen nach, leicht übersehen lassen. abfe ist ein sehr massiver Träger, worin das Fernrohr liegt, und dieses wird durch die Deckel bei e und f mit beträchtlicher Reibung in den Lagern gehalten. Dieser Träger ruht auf einem mit Stellschrauben versehenen Dreifuſse. Das Fernrohr kann durch horizontale Drehung um die in der Säule ST befindliche Axe leicht auf den Gegenstand gerichtet werden, welchem der Sonnenstrahl zugeworfen werden soll, und er läſst sich dann, vermittelst der Stellschrauben des Dreifuſses, ganz genau auf denselben richten. Bei xy und uv sind zwei Handgriffe, der erstere um das Fernrohr mit dem daran befestigten, die Spiegel tragenden Rahmen in seinem Lager zu drehen, der letztere um beiden Spiegeln eine Drehung mitzutheilen. y und v sind Gegengewichte dieser Handgriffe x und u.

Am Objectiv-Ende des Fernrohres ist ein aus drei rechtwinklich an einander gefügten Stücken bestehender Rahmen hikl befestigt, und dieser trägt einen zweiten, um die Axe hl drehbaren Rahmen mnpq. Da der erstere sich um die beinahe horizontale Axe des Fernrohrs drehen kann, der zweite aber sich um eine auf die vorige senkrechte Axe dreht, so erhellet, daſs die Ebene des letztern in jede willkürliche Stellung gebracht werden kann. Dieser letztere Rahmen enthält die beiden, nur eine einzige Spiegel-Ebene ausmachenden Spiegel mnsr und twqp, die hinten mit Platten verwahrt sind, und Stellschrauben haben, um das genaue Zusammenfallen der Ebenen beider zu bewirken. Mit ihnen ist fest und in rechtwinklicher Stellung verbunden der schwarze Spiegel $\alpha\gamma\varepsilon\zeta$, der an seiner hinteren Seite einen Arm oder Schwanz hat, um durch Stellschrauben in

die ganz genaue gegen den vorigen Spiegel rechtwinkliche Stellung gebracht zu werden. Dieser letztere Spiegel wirft dem Auge des Beobachters das Sonnenbild zu.

Bei dem Gebrauche des Instruments stellt man es so, daſs die Mitte des Fadenkreuzes auf den Punct trifft, den der entfernte Beobachter einnimmt. Dann dreht man das Fernrohr um seine Axe, und die verbundenen Spiegel um die Axe hl, und muſs diese Drehungen so einrichten, daſs man das Sonnenbild ins Fernrohr und auf die Mitte des Fadenkreuzes bringt. Sobald dieses der Fall ist, sieht der entfernte Beobachter das Sonnenbild in dem aus zwei Stücken bestehenden groſsen Spiegel. Dieser gröſsere Spiegel braucht indeſs selbst nur von geringen Gröſse zu seyn, da ein Spiegel von 2 Zoll breit und $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch schon ein auf sehr groſse Entfernungen sichtbares Sonnenbild giebt.

Für diejenigen Trigonometer, welche keinen Heliotropen besitzen, aber mit einem Spiegelsextanten versehen sind, der auf einem recht soliden Fuſsgestelle steht, bemerkt Gauss, daſs sie sich des *Spiegelsextanten* statt eines Heliotropen bedienen können. Hat man nämlich mit dem Spiegelsextanten den Winkel zwischen der Sonne und dem Puncte genommen, dem man das Licht zuwerfen will, so läſst man den Gradbogen des Sextanten völlig fest auf seinem Fuſse, dreht aber möglichst schnell, damit nicht die Sonne unterdeſs merklich ihren Stand ändere, die mit dem groſsen Spiegel des Sextanten verbundne Alhidade um so viel weiter, als der Winkel beträgt, den die Gesichtslinie des Fernrohrs mit dem Perpendikel auf den zweiten Spiegel macht; dann wird das Licht der Sonne auf den verlangten Punct geworfen [1]. Dieses läſst sich leicht beweisen.

Es sey a$\alpha$ der auf Null des Gradbogens stehende groſse Spiegel des Sextanten, c$\gamma$ der mit dieser Stellung parallele kleine Spiegel; TB sey der von jenem Puncte, dem man den Sonnenstrahl zusenden will, herkommende Lichtstrahl, der nach BC auf den zweiten Spiegel und nach CD nach der Richtung der Axe des Fernrohres zum Auge hin geworfen wird, wenn die Alhidade BA auf Null Graden bleibt. SB sey der Sonnenstrahl, und ABE = aBe der Winkel, um welchen man die Fig. 79.

1 In von Zach's correspondance astronomique V. p. 376. Zeile 20. muſs statt de ce troisième miroir stehen, du second miroir.

Alhidade drehen muſs, um die Sonne im Spiegel c$\gamma$ zu sehen. Es sey ABC $=$ BC$\gamma = \alpha$; ABE $=$ aBe $= \beta$, so ist EBC $=$ eBS $= \alpha - \beta$, weil nämlich BC hier der reflectirte Sonnenstrahl seyn muſs, damit dieser bei nochmaliger Reflexion zum Auge gelange. Der Winkel, unter welchem der zum Auge gelangende Strahl gegen das Einfallsloth am zweiten Spiegel geneigt ist, bleibt immer $= 90° - \alpha$, und wenn man um diesen Winkel die Alhidade mit dem groſsen Spiegel fortdreht, so daſs EBF $=$ eBf $= 90° - \alpha$ ist, so hat man SBf $= \alpha - \beta + 90° - \alpha = 90° - \beta$; den zurückgeworfenen Strahl stelle bei dieser Lage des Spiegels BK vor, so ist FBK $= 90° - \beta$, aber FBC $=$ EBC $- 90° + \alpha = 2\alpha - \beta - 90°$, also CBK $= 2\,(90° - \alpha) =$ BCD, also BK mit CD parallel, das ist, mit BT zusammenfallend, und der reflectirte Strahl trifft den Punct, von welchem der Strahl TB herkommt, oder von welchem tCD herkommt.

## Bemerkungen über den Gebrauch des Heliotropen.

Mit welchem Erfolge der Heliotrop angewandt worden, davon giebt Gauss selbst Beispiele, die ich etwas näher anführen will[1]. Die Entfernung vom *Lichtenberge* bis zum Berge *Hill* ist 39952 Meter; die des *Deisters* vom *Hill* 40605 Meter; die des *Lichtenberges* vom *Brocken* 42437 Meter; vom *Hill* zum *Brokken* 55122 Meter. Auf den drei ersten Entfernungen sah man das reflectirte Licht immerfort mit bloſsem Auge; auf der letzten Distanz war es, wenn die Umstände die Beobachtung irgend begünstigten, gleichfalls sichtbar, und einmal, unter besonders günstigen Umständen sah man das vom *Brocken* aus reflectirte Licht sogar auf dem *Hohenhagen* in 69194 Meter $=$ 213010 Par. Fuſs Entfernung mit bloſsem Auge. Im Fernrohre konnte man das Licht vom *Inselsberge* auf dem *Brocken* in 105986 Meter Entfernung noch sehen, und gegen Sonnen-Untergang sehr gut darauf pointiren.

Bei einer Entfernung von 120000 Fuſs, welches noch erheblich weniger als 40000 Meter ist, beträgt die scheinbare Breite selbst eines dreizolligen Spiegels nur 0,43 Sec., also sein Quadrat-Inhalt $=$ 0,185 Quadrat Secunden. Lege ich nun (nach

1 De Zach Corr. Astr. VI. p. 66.

Digitized by Google

Leslie's Angabe)[1] diesem Lichte die 12000fache Intensität unſers gewöhnlichen Kerzenlichtes bei, so müſste ein solches unter der scheinbaren Gröſse von 0,185 . 12000 = 2220 Quadrat-Secunden erscheinen, also, wenn die Lichtflamme etwa 3mal so hoch als breit ist, von 81 Secunden scheinbarer Höhe. Nehme ich also die Lichtflamme 1 Z. hoch an, so müſste sie 2540 Z. = 212 Fuſs entfernt seyn, um nur noch eben so stark als jenes reflectirte Licht aus 120000 Fuſs Entfernung auf das Auge zu wirken. Man sieht aber eine solche Lichtflamme noch aus erheblich gröſserer Entfernung. Daſs nun ein Licht von so groſser Intensität, wie es der Heliotrop darbietet, welches endlich nur seiner Kleinheit wegen dem bloſsen Auge unsichtbar wird, im Fernrohr in noch viel gröſseren Abständen, so wie eben erwähnt ist, sichtbar bleiben muſs, läſst sich hieraus wohl übersehen.

Um bei diesen Beobachtungen dem entferten Gehülfen anzuzeigen, daſs man zu beobachten im Begriff sey, räth Gauss vorläufige Signale an; er selbst wandte tactmäſsig unterbrochene Lichtblitze, die er mit seinem Sextanten hinsandte, dazu an, und sein Correspondent antwortete in demselben Augenblicke durch ähnliche Signale mit dem Heliotropen. Gauss bemerkt dabei, wie nützlich solche Signale auch in andern Fällen seyn könnten, und daſs sie, zumal zu militärischen Zwecken, den Vorzug haben, auſser der Linie zwischen beiden Correspondenten gar nicht bemerkt zu werden. Daſs diese Signale, so wie Blickfeuer zu Längenbestimmungen dienen können, ist leicht zu übersehen.

Ueber die genaue Berichtigung des Heliotropem giebt Gauss folgende Anleitung[2]. 1. Um die optische Axe des Fernrohrs mit der Drehungs-Axe des Fernrohrs in genaue Uebereinstimmung zu bringen, dienen zwei am Oculare angebrachte Correctionsschrauben. Daſs man die Nothwendigkeit dieser Correction erkennt, indem man einen Punct mit der Mitte des Fadenkreuzes zusammenbringt, und sieht, ob er bei der Drehung des Fernrohrs in der Mitte des Fadenkreuzes bleibt, ist bekannt. 2. Die Drehungs-Axe hl der Spiegel muſs gegen die Axe des Fernrohrs senkrecht seyn, und auch dazu sind Correctionsschrauben angebracht. Ob diese Berichtigung nöthig ist, lehrt Gauss Fig. 78.

1 S. Art. *Erleuchtung*. Th. III. S. 1149.

2 Schumacher's astr. Nachr. V. S. 329.

Digitized by Google

durch folgendes Verfahren bestimmen. Die Axe hl der Spiegel wird nach dem Augenmaſs vertical gestellt, und zwar so, daſs der Handgriff zum Drehen uv zu unterst steht; dieser, dann in horizontaler Richtung bewegliche Handgriff wird mit dem Fernrohre parallel gestellt. Man hängt nun an den Handgriff ein Niveau, und bewirkt die genaue Einstellung desselben durch Drehung der Stellschrauben des Dreifuſses. Ist dieses geschehen, so wird der zuerst unter dem Fernrohr stehende Stiel des Handgriffs durch eine Drehung von 180 Graden um die Spiegel-Axe in eine vom Fernrohre abwärts gehende Stellung gebracht, und nun das Fernrohr aus seinen Lagern vorsichtig ausgehoben und so wieder eingelegt, daſs das Ocular an dem Ende ist, wo zuerst das Objectiv war; der Stiel des Handgriffes bleibt an der untern Seite vom Fernrohre abgewandt. Findet sich nun wieder das Niveau richtig eingestellt, so ist keine Correction nöthig, sonst muſs man die Hälfte der im Niveau entstandenen Verrükkung durch die Schraube corrigiren, welche die Spiegel-Axe berichtiget. Der Grund ist einleuchtend, da dieses Umlegen den Fehler in der Richtung jener Axe verdoppelt zeigt. Daſs die Drehungs-Axe des Fernrohrs mit der Linie durch die beiden aufliegenden Puncte parallel seyn muſs, wird hierbei vorausgesetzt.

3. Die Ebenen der beiden Spiegelstücke mnsr und twpq, so wie des darauf senkrechten kleinen Spiegels $\alpha\gamma\varepsilon\zeta$ müssen mit der Drehungs-Axe parallel seyn. Es ist bekannt, daſs eine Ebene, die mit einer Axe parallel ist, nach einer Drehung von 180° genau mit ihrer ersten Lage parallel wird, statt daſs sie nicht zu dieser parallelen Lage kommen kann, wenn sie mit der Axe, um welche die Drehung geschieht, nicht parallel ist. Um also zu sehen, ob einer jener drei Spiegel mit der Axe parallel ist, wird die Gabel hikl mit ihren Spiegeln abgenommen, und auf ein Bret befestigt, an den gleich zu erwähnenden Ort gebracht. Man stellt zwei mit Kreuzfäden versehene Fernröhre
Fig. 80. M, N so auf, daſs ihre optischen Axen sich einander in R schneiden (oder wenigstens ganz nahe an einander vorbeigehen), während in dem Durchkreuzungspuncte der Fäden des einen der Punct P, in dem Durchkreuzungspuncte der Fäden des andern der Punct O erscheint. Diese Gegenstände P, O, brauchen kaum 100 Fuſs entfernt zu seyn. In dem Puncte R, wo die optischen Axen sich durchkreuzen (den man leicht mit hinreichender Ge-

Digitized by Google

nauigkeit findet, indem man einen kleinen Gegenstand dort aufſtellt, und sieht, wo dieser stehen muſs, damit einerlei Punct in der Axe beider Fernröhre erscheine), wird der zu prüfende Spiegel so gestellt, daſs der Punct O in der Axe des Fernrohrs M im Spiegel erscheine. Hier erhellet nun leicht, daſs wenn die andere Seite des Spiegels parallel mit jener und ebenfalls spiegelnd wäre, zugleich der Punct P gespiegelt in der Axe des Fernrohrs N erscheinen müſste; man bringt aber eben jene nach O und M gekehrte Spiegelfläche an die nach P und N gekehrte Seite, indem man den Spiegel um 180 Grade um die Axe dreht, und da die Axe so gut wie genau in der Spiegel-Ebene selbst liegt, so muſs sie nach dieser Drehung fast genau den vorigen Ort wieder einnehmen, oder in kaum merklichem Abstande von demselben der vorigen Lage parallel seyn, also das Licht von P nach N werfen, wenn die Spiegel-Ebene genau mit der Axe parallel ist. Findet man also nach der Drehung nicht den Punct P in der Mitte des Fadenkreuzes von N, so muſs man den Fehler zur Hälfte am Spiegel corrigiren, (zu welchem Zwecke die vorhin schon erwähnten Stellschrauben dienen), dann durch Aenderung der Stellung des ganzen Apparats das Bild von P völlig in die Axe von N bringen, und sehen, ob nun bei der Drehung um 180 Grade das Bild von O genau nach M geworfen wird.

4. Die beiden Spiegel-Ebenen m n s r, t w q p müssen genau parallel seyn, so daſs sie wie ein einziger Spiegel anzusehen sind. Fig. 78.
Wenn man eine mit der Spiegel-Axe ungefähr parallele gerade Linie so sieht, daſs sie zum Theil in der eine, zum Theil in der andern Spiegelhälfte erscheint, so müssen diese beiden Bilder eine gerade Linie ausmachen, und schon das bloſse Auge entscheidet hierüber mit vieler Genauigkeit. Als zweites Mittel schlägt Gauss vor, sich dieser beiden Spiegel-Ebenen als eines künstlichen Horizonts zu bedienen, wobei die Messung der Sonnenhöhe dann einerlei Resultat geben muſs, man mag das Bild der Sonne im einen, oder in demselben Augenblick im andern Spiegel nehmen.

5. Endlich muſs die Ebene des kleinen Spiegels genau senkrecht gegen die Ebene jener beiden Spiegelhälften seyn. — Gauss giebt folgendes Verfahren als das zu diesem Zwecke bequemste an. Man stellt den Heliotropen und ein Hülfsfernrohr mit Kreuzfäden so auf, daſs die optische Axe des Hülfsfernrohrs mit der des Heliotropenfernrohrs parallel ist, und etwa so viel höher liegt, als die halbe Distanz der Mitte der beiden

Digitized by Google

Spiegelhälften ms, tq. Dieses wird dadurch bewirkt, daſs man den Heliotropen auf ein gut zu sehendes entferntes Object richtet, das Fernrohr herausnimmt, und nachdem das Hülfsfernrohr in der angegebenen Höhe auf dasselbe Object gerichtet ist, das Heliotropenfernrohr in umgekehrter Lage wieder einlegt. Die Spiegel-Axe wird nun vertical gestellt, und durch Drehung der verbundenen Spiegel bewirkt, daſs irgend ein genügend kenntlicher Punct durch Reflexion im kleinen Spiegel genau in der Axe des Heliotropenfernrohrs erscheine; dieser selbige Punct muſs auch im Hülfsfernrohre, durch Reflexion in der obern
Fig. 81. Spiegelhälfte in der Axe des Fernrohrs erscheinen; denn offenbar ist, wenn bcf = 90°, Sbf der einfallende, ba der reflectirte Strahl am einem, fg am andern Spiegel ist, abf = 2. (90° — bfc) und ebenso groſs ist, da bc, cf die beiden Spiegelflächen vorstellen, bfg, also gf mit ba parallel. Erscheint derselbe Punct also nicht in der Axe des Hülfsfernrohrs, so muſs man mit der am Schwanze des kleinen Spiegels angebrachten Correctionsschraube diesen berichtigen[1].

Zum Schlusse mag hier noch die Bemerkung stehen, daſs Scheiner[2] ein, unsern parallaktisch aufgestellten Fernröhren ähnliches Instrument ein *Heliotropium* nennt, weil es sich immer nach der Sonne wendet, oder sich bequem, um fortwährend die Sonne zu beobachten, gegen sie wenden läſst.

*B.*

## Herbst.

*Autumnus*; Automne; *Autumn.* Diejenige Jahreszeit, welche den Uebergang vom Sommer zum Winter macht. Man rechnet den Anfang des Herbstes an dem Tage, an welchem die Sonne nach ihrer höchsten Stellung den Aequator wieder erreicht, und das Ende des Herbstes oder der Anfang des Winters ist an dem Tage, wo die Sonne den Wendekreis und daher ihren niedrigsten Stand am Himmel erreicht. Für die nördlichern Gegenden der Erde ist daher der Anfang des Herb-

1 Auſser dem hier Angeführten giebt Gauss am genannten Orte noch mehr Regeln, die ich hier wohl übergehen darf.

2 Im 3ten Buche der rosa ursina.

stes mit dem Eintritte der Sonne in die Waage gleichzeitig, und der Herbst endigt sich, wenn die Sonne in den Steinbock tritt; er dauert also vom 23. Sept. bis 21. Dec. Daſs für die südliche gemäſsigte und kalte Zone die Zeit, da die Sonne den Widder, den Stier und die Zwillinge durchläuft, Herbst heiſsen müsse, erhellet hieraus von selbst.

Daſs die Witterung, die wir Herbstwitterung nennen, sich nicht genau an diese Zeit bindet, sondern oft völlige Winterkälte vor dem 21. Dec. eintritt, oft auch der Sommer sich über die Grenze des Herbstes hinaus verlängert, ist bekannt. Im Allgemeinen ist in unsern Gegenden der Herbst die Jahrszeit, wo die Bäume ihr Laub verlieren, die Luft kälter und feucht wird, sich auch abwechselnd wohl schon Frost und Schnee findet. *B.*

## Herbstnachtgleiche.

*Aequinoctium autumnale;* équinoxe d' automne; *autumnal Equinox.* Die Zeit, wann die Sonne, von ihrem höhern Stande sich dem Aequator nähernd, diesen wirklich erreicht. Dieser Zeitpunct ist der Anfang des Herbstes und es ist dann der Tag so wohl als auch die Nacht 12 Stunden lang.

Für die nördliche Halbkugel ist der Eintritt der Sonne in die Waage der Zeitpunct der Herbstnachtgleiche, nämlich der 23. Sept. *B.*

## Herbstpunct.

Punct der Herbstnachtgleiche; *Punctum aequinoctii autumnalis.* Der Durchschnittspunct der Ekliptik mit dem Aequator, wo sie bei ihrer allmälig niedrigern Mittagshöhe, diesen erreicht. In Beziehung auf die nördliche Halbkugel verstehen wir fast allemal den Anfangspunct der Waage, wenn wir vom Herbstpuncte reden; er wird mit 0° ♎ bezeichnet. Dieser Punct, welcher der Nullpunct der Waage heiſst, liegt indeſs jetzt nicht mehr bei den Sternen der Waage, sondern nahe bei den Sternen auf der linken Schulter der Jungfrau[1]. *B.*

---

1 Vergl. Art. *Nachtgleichen.*

# Himmel.

**Himmelsgewölbe, Firmament;** *Coelum, sphaera coelestis, firmamentum;* Ciel, firmament; *Heaven, Sky.* Wenn wir bei Tage oder auch in einer nicht allzu finstern Nacht über uns sehen, so kommt es uns vor, als umgebe uns dort oben ein groſses Gewölbe, an welchem die Sterne sich zu befinden scheinen, und an welchem bei Tage die Sonne fortzurücken scheint; dieses nennen wir den *Himmel.*

Daſs keine feste Himmelskugel, an welcher die Sterne angeheftet wären, vorhanden, und daſs die Meinung der Alten von mehrern in einander liegenden und einzeln beweglichen Himmelskugeln, durch deren Drehung die Sterne um uns herumgeführt werden, ungegründet sey, darf ich wohl als erwiesen voraussetzen. Diese Ansicht muſste von selbst fallen, sobald man richtigere Kenntnisse von der Bewegung der einzelnen Planeten erhielt, und selbst DESCARTES's Meinung von einer diese Welträume erfüllenden Materie, in deren Wirbeln die Weltkörper fortgezogen würden, konnte nicht mehr bestehen, als man nach NEWTON's Anleitung die genaueren Gesetze der Bewegung dieser Körper kennen lernte, und dadurch zu dem Schlusse, daſs keine irgend einen erheblichen Widerstand leistende Materie in den Himmelsräumen vorhanden sey, geleitet wurde.

Da dieser Raum also, auſser jenen leuchtenden Körpern, unserm Auge gar keinen Gegenstand darbietet, so sollte der Zwischenraum zwischen den Sternen uns vollkommen dunkel erscheinen[1]. Selbst am Tage würden wir den Raum über uns ganz dunkel und nur die Sonne aus diesem sie umgebenden Dunkel mit ihrem mächtigen Glanze hervorschimmern sehen, wenn gar nichts da wäre, was Licht zurückwürfe. Aber die unsere Erde umgebende Luft bietet dem Lichte Theilchen von hinreichender Dichtigkeit dar, von welchen es zurückgeworfen wird; daher zeigt sich selbst der wolkenfreie Himmel am Tage glänzend, und so glänzend, daſs unser Auge oft kaum auf längere Zeit diesen Glanz erträgt. Dieser Glanz des Himmelsge-

---

1 Betrachtungen über die Frage, ob nicht bei einer bis ins Unendliche fortgehenden Folge von Sternsystemen sich der ganze Himmel leuchtend zeigen müsse, finden sich im Art. *Aether.* Th. I. S. 276.

Digitized by Google

wölbes ist geringer auf hohen Bergen, wo die dünnere Luft, zumal wenn sie von Dünsten frei ist, einen so geringen Antheil von Licht zurückgiebt, daſs man dort, weil das Auge weniger geblendet wird, mit mehr Leichtigkeit sehr helle Sterne am Tage sehen kann.

Wenn die in der Atmosphäre befindlichen Luft- und Dunsttheilchen alle Arten farbigen Lichtes gleich gut zurückwürfen, so müſste uns dieser allgemeine Glanz der erhellten Luft weiſs erscheinen, so wie eine Nebelmasse uns erscheint und wie die weiſsen glänzenden Wolken uns erscheinen, durch welche die Sonne sich weiſs zeigt, und welche selbst sich weiſs zeigen, weil alle Arten Licht gleich gut durchgelassen und gleich gut reflectirt werden; aber so verhält es sich nicht, sondern der Himmel ist blau, die Lufttheilchen werfen also mehr blaues Licht, als rothes oder gelbes zurück, und obgleich der ungemeine Glanz des Himmelsgewölbes auch zu groſsem Theile aus weiſsem Lichte besteht, so ist doch das zurückgeworfene blaue Licht in hohem Grade vorwaltend. Die reine, dunstfreie Luft scheint ganz vorzüglich die Eigenschaft zu besitzen, daſs sie das rothe und gelbe Licht vorzugsweise durchläſst, während sie das blaue vorzugsweise zurückwirft; die wässerigen Dünste dagegen werfen alle Arten von Licht ziemlich gleichmäſsig zurück, und geben, wenn die Luft sehr mit ihnen erfüllt ist, dem Himmel ein milchiges Ansehen. Wie diese Erscheinungen der ungleichen Bläue des Himmels mit den ungleichen Erscheinungen der *Morgenröthe* und *Abendröthe* zusammenhängen, habe ich auf eine Weise, die mir noch immer genügend scheint, im Artikel *Abendröthe* auseinander gesetzt.

Zu dem dort Angeführten muſs ich noch Folgendes hinzusetzen. Hassenfratz[1] hat es der Mühe werth gefunden, das prismatische Sonnenbild zu verschiedenen Zeiten genauer zu untersuchen, und gefunden, daſs die niedriger stehende Sonne allemal ein Farbenbild gab, worin die stärker brechbaren Farben mehr oder minder fehlten. Das Sonnenbild, welches bei hochstehender Sonne eine Länge von 185 Millimetern hatte, zeigte sich, unter sonst ganz gleicher Anordnung des Versuchs, nur etwa 100 Millimeter lang, ja am 15. Jan. 1805 gegen die Zeit des Sonnenunterganges nur 70 Millimeter lang. Diese Verkür-

1 Ann. de Chimie. LXVI. p. 60.

zung des Sonnenbildes entstand aus dem Mangel der blauen Strahlen, die am 15. Jan. 1805 so ſehlten, daſs das ganze Farbenbild nur aus Roth, Orange und Grün bestand. Die blauen und violetten Strahlen waren also in der Luft, ohne Zweiſel durch Reflexion verloren gegangen.

Aus den Beobachtungen [1] von Seebeck und v. Göthe, daſs das vom blauen Himmel zu uns kommende Licht ein wahrhaft polarisirtes ist, geht noch ein neuer Grund hervor, dieses Licht als reflectirtes Licht anzusehen. Arago und Brewster haben jene Beobachtungen schon benutzt, um diese Behauptung daran zu knüpfen [2].

Von der Form dieses Himmels über uns scheint eigentlich, wenn der Himmel frei von Wolken ist, gar keine Rede seyn zu können, da unser Blick hier gar keine Schranken ſindet. Wollten wir von einer theoretisch zu bestimmenden Form sprechen, so müſste es wohl gewiſs die Form einer Halbkugel seyn, wenn der Himmel unbewölkt ist, und bei einer Bedekkung mit Wolken müſsten wir die Gestalt dieser Wolkenschicht bestimmen, um theoretisch die Gestalt des Himmelsgewölbes anzugeben; aber hier zeigt sich uns Manches anders, und unser unwillkürliches Urtheil bringt auffallende Täuschungen hervor.

Wenn wir zwischen hohen Gegenständen, zwischen nahe liegenden hohen Häusern uns befinden, so daſs unser Gesichtskreis sich vom Zenith nur 50 oder 60 Grade weit erstreckt, so kommt uns das Himmelsgewölbe so vor, als ob es nicht gar weit hinter jenen Gegenständen sich zur Erde herab krümme. Dagegen, wenn wir uns auf einem ausgedehnten freien Raum beſinden, wo wir Meilen weit Gegenstände um uns sehen, überzeugt uns der Anblick, daſs das Himmelsgewölbe alle jene Gegenstände umfaſst, und also weithin ausgedehnt ist, während wir geneigt sind, seine Höhe für viel beschränkter, als diese horizontale Ausdehnung zu halten. Offenbar giebt uns hier der bloſse sinnliche Eindruck gar kein Mittel, die Entfernung zu beurtheilen, und es ist ja bei heiterm Himmel überhaupt kein Gegenstand in bestimmter Entfernung da, dessen Entfernung wir abschätzen könnten; wir tragen also die Schätzung der Entfernung gar nicht nach optischen Regeln in das, was sich unserm Auge darbietet, hin-

1 V. Göthe zur Naturwissenschaft. 1. Heft. S. 16. 32.

2 Brewster on new philos. Instruments. p. 350.

Digitized by Google

ein, und laſsen uns dabei nur durch die uns dieſseits des Himmelsgewölbes sichtbaren Gegenstände einigermaſsen leiten, so daſs wir es für viel näher halten da, wo sich keine oder nur wenig entfernte Gegenstände zeigen. Ob das Urtheil aller Menschen hierin so einstimmig ist, daſs sie das Verhältniſs der Höhe und der horizontalen Ausdehnung unter gleichen Umständen gleich schätzen, ist wohl nie genau untersucht, aber in der Hauptsache sind alle einig, allen scheint der Himmel bei freier Aussicht keine Halbkugel, sondern ein sehr viel flacheres Gewölbe darzustellen. Um die Gestalt zu bestimmen, welche unser Urtheil dem Himmelsgewölbe beilegt, hat Smith[1] einige Beobachtungen angestellt. Er fand, daſs wir den Bogen vom Zenith bis zur Sonne allemal für kleiner, als den von der Sonne bis zum Horizonte halten, wenn die Sonne nur 30 Grade hoch steht, und daſs man eine Höhe von 23 Graden els diejenige ansehen kann, wobei jene beiden Bogen als gleich geschätzt werden. An diese Beobachtung knüpft Smith die Frage, wie groſs eine um den Mittelpunct der Erde beschriebene Kugel seyn müsse, damit ein Bogen ihres gröſsten Kreises so erscheine, daſs der Beobachter e auf der Oberfläche der Erde den Bogen a n un- Fig.
ter dem Winkel = 23°, den eben so groſsen Bogen b n unter 82.
dem Winkel von 67° sehe. Es sey b n = n a = A, so ist

$$ef = r\,(\text{Cos. } A - \text{Cos. } 2A),\quad nf = r\,\text{Sin. } A,$$

$$\text{also Tang. } neb = \text{Tang. } 67° = \frac{\text{Sin. } A}{\text{Cos. } A - \text{Cos. } 2A}$$

$$\text{das ist Tang. } 67°.\,(\text{Cos } A - \text{Cos.}^2 A + \text{Sin.}^2 A) = \text{Sin. } A$$

$$\text{oder Tang. } 67°.\,\{1 + \text{Cos. } A - 2\,\text{Cos.}^2 A\} = \text{Sin. } A$$

$$\text{Tang. } 67°.\,\{1 - \text{Cos. } A\}\,\{1 + 2\,\text{Cos. } A\} = \text{Sin. } A$$

$$\text{Tang.}^2\, 67°\,(1 - \text{Cos. } A)\,(1 + 2\,\text{Cos. } A)^2 = 1 + \text{Cos. } A.$$

Es müſste also Cos. A aus der cubischen Gleichung

$$\text{Cos.}^3 A - \tfrac{3}{4}\,\text{Cos. } A + \tfrac{1}{4}\,\text{Cotang.}^2\, 67°.\,\text{Cos. } A = \text{Cotang.}^2\, 67° + \tfrac{1}{4},$$

$$\text{Cos.}^3\, A - 0{,}7049553.\ \text{Cos. } A = 0{,}2049553$$

gesucht werden. Diese Gleichung giebt Cos. A = 0,9585, also A = 16° 34′, und den ganzen Bogen = 33° 8′.

Hierbei ist vorausgesetzt, daſs das Himmelsgewölbe sich uns als Kugelabschnitt zeige; ob das der Fall ist, könnte man prüfen, wenn man verschiedene Bogen eines Verticalkreises mit einander vergliche, und zum Beispiel den Augenblick wahr-

1 Vollst. Lehrbegr. d. Optik, bearb. v. Kästner. S. 56. 416.

nähme, wenn zwei am Horizonte stehende Sterne unſerm Auge eben ſo weit von einander ſchienen, als zwei nahe am Zenith stehende; indeſs müſste man ziemlich viele ſolche Beobachtungen anſtellen, um ein brauchbares Mittel zu erhalten. Nimmt man aber den Durchſchnitt des Himmelsgewölbes für einen Kreisbogen an, ſo kann man jetzt die Abſtände ae, ne, be und jeden andern berechnen, und findet für die Höhe = 0; ea = 3,3 × be, für die Höhe = 15°; en = 2,2 × be, ſo daſs der Mond am Horizonte, weil wir ihn 3⅓ mal ſo entfernt als im Zenith ſchätzen, uns auch 3⅓mal ſo groſs im Durchmeſſer vorkommen muſs.

Da wir den Mond im Horizonte nicht immer gleich groſs ſchätzen, ſondern ihn vorzüglich dann ſehr groſs zu ſehen meinen, wenn er bei noch ſtarker Dämmerung und hinter dünnen Wolken aufgeht, ſo muſs uns ohne Zweifel zu ſolchen Zeiten auch das Himmelsgewölbe flacher, einem gröſsern Kreisbogen entſprechend, ſcheinen, als zu anderer Zeit.

Auch die Erſcheinung anderer Phänomene am Himmel erleidet, vermöge dieſes unrichtigen Urtheils, eine Modification. Steht der Mond 23 Grade hoch und iſt von einem Ringe von 22 Grade Halbmeſſer umgeben, ſo reicht deſſen unteres Ende bis an den Horizont, und da wir des Mondes Abſtand vom Zenith nicht viel gröſser ſchätzen, als ſein Abſtand vom Horizonte, ſo müſſen wir die obere Hälfte des Ringes für viel weniger ausgedehnt, als die untere halten[1]. Etwas Aehnliches muſs für die Breite des Regenbogens in ſeinem obern und untern Theile, für die Abſtände beider Regenbogen von einander u. ſ. w. gelten.

Zur Geſchichte dieſer Unterſuchungen führe ich nur kurz Folgendes an. Daſs Ptolemaeus in ſeiner Optik etwas hiervon ſage, ſcheint ungegründet zu ſeyn[2], obgleich Roger Baco dieſes[3] behauptet hatte. Ptolemaeus und Strabo[4] haben das Gröſserſcheinen des Mondes vielmehr der Strahlenbrechung zugeſchrieben — auch die auf dem Boden des Waſſers geſehene Gegenſtände erſchienen gröſser. — Alhazen hat ſchon die

1 Vergl. Newton's Beob. Optice. am Ende des 2ten Buchs.
2 G. XL. 373.
3 Perspect. p. 118. ed. Combach.
4 *Μεγ. Συνταξις* I. 3. Strab. Geogr. III. 95.

Digitized by Google

richtige Erklärung, der auch Hobbes und Gassendi beitraten. Unter denen, welche diese Meinung bestritten haben, nennt Priestley vorzüglich Gouye und Molineux[1], und Mairan nennt Regis[2], der von Malebranche[3] widerlegt wurde. Malebranche nämlich erklärte dieses jugement naturel, nach welchem das Himmelsgewölbe uns am Horizonte entfernter scheint, aus der Menge der Gegenstände, die wir dort zwischen uns und den Grenzen des Horizonts gewahr werden.

Manche Schriftsteller haben die anscheinende Gröſse des Mondes am Horizonte aus seinem wegen der Dünste matteren Lichte erklärt[4], aber gewiſs ist der vorhin angeführte Grund der Täuschung der richtigere. Daſs die Schwächung des Lichtes durch die Dünste noch mehr beitrage, jenes unrichtige Urtheil zu bestärken, läſst sich wohl nicht leugnen, denn darauf scheint zum Theil die Ungleichheit unserer Schätzung zu beruhen, indem wir ja manchmal bemerken, der Mond erscheine beim Aufgange ganz ungewöhnlich groſs. Unter denjenigen, welche sich für eben die oben angegebne Ursache der Täuschung erklären, muſs ich doch noch Mairan besonders anführen, weil er an die allgemeine Frage, wie uns der durch ein brechendes Medium gesehene Boden eines Gefäſses erscheine, auch die Bestimmung knüpfte, wie nach dioptrischen Gründen ein halbkugelförmiger Himmel durch die das Licht brechende Luft uns erscheinen müsse. Er fand aber, daſs die daraus entstehende Abweichung von der Kugelgestalt ganz unbedeutend sey[5], und giebt dann Malebranche's und Smith's Erklärung als die richtige an[6]. *B.*

---

1 Geschichte der Optik. S. 504. Mém. de Paris pour 1700, und Phil. Transact. pr. 187.

2 Mém. de Paris pour 1740. p. 50.

3 Recherche de la vérité. L. I. cap. 7. und Journ. des Savans 1694. p. 83.

4 Euler Briefe an einen deutschen Prinz. 3 Th.

5 Mém. de Paris. 1740. p. 47.

6 Klügel macht in seiner Uebersetzung von Priestley's Geschichte der Optik S. 510. die Bemerkung, der Mond erscheine bei andern Mondphasen am Horizonte nicht gröſser. Dabei muſste man wohl Folgendes überlegen. Wenn der Mond voll ist, geht er gerade zu einer Zeit auf und unter, wo man die Gegenstände noch deutlich erkennt und also eine Veranlassung findet, dem Monde in Gedanken

Digitized by Google

# Himmelskugel.

Künstliche; *Globus coelestis artificialis*; Globe céleste; *Artificial Globe.* Eine Kugel, auf welcher die Gestirne in ihrer richtigen gegenseitigen Lage aufgetragen und die Kreise gezogen sind, deren wir uns zur Bestimmung der Lage derselben bedienen. Durch ihre angemessene Befestigung in einem Gestelle, worin sie sich um ihre Axe drehen läſst, dient sie, um die Erscheinungen der täglichen Bewegung nachzuahmen, und das zu versinnlichen, was wir in Beziehung auf die Erscheinungen am Himmel berechnen oder wahrnehmen können.

Da wir durch den bloſsen Anblick gar nicht über den ungleichen Abstand der verschiedenen Gestirne belehrt werden, so referiren wir sie alle auf eine Kugelfläche, und obgleich eine eigenthümliche Täuschung unsers Urtheils uns die Gestirne am Horizonte etwas anders als am Zenith zeigt[1], so finden wir doch darin keinen Grund, von der Vorstellung, als wären alle Sterne auf einer Kugelfläche, abzugehen.

## Einrichtung der künstlichen Himmelskugel.

Da die wichtigsten Puncte und Kreise, deren wir an der Himmelskugel bedürfen, um die Lage der Sterne genau anzugeben, auf der künstlichen Kugel gezeichnet werden müssen, so nimmt man zuerst zwei Puncte, auf demselben Durchmesser liegend, an, welche die *Pole des Aequators* vorstellen, P und S.

---

eine gröſsere Entfernung beizulegen; geht er dagegen, in völlig finstrer Nacht unter, so erinnere ich mich allerdings, ihn wohl für gröſser als bei hoher Stellung, aber minder groſs, als beim Vollmonde gehalten zu haben. Geht er bei Tage auf, so sollte er uns groſs vorkommen; ich besinne mich aber nicht, ihn am Tage so kurz nach seinem Aufgange, oder vor seinem Untergange gesehen zu haben; indeſs ist es gewiſs, daſs wir auch den in der Dämmerung nahe am Horizonte stehenden Neumond für sehr groſs ansehen. Zur Literatur gehört noch Gassendi's mit unerträglicher Weitläuftigkeit geschriebene Abhandlung de apparente magnitudine solis humilis et sublimis. Opera Tom. III. Vergl. Art. *Gesicht.* Th. IV. S. 1452.

1 S. Art. *Himmel.*

Um diese Pole als Mittelpuncte werden die unter sich parallelen *Tagekreise*, und der gröſste Kreis, A Q, welcher *den Aequator* vorstellt, gezeichnet. Dieser ist in jedem seiner Puncte 90° von den Polen entfernt, und theilt den Himmel in die *nördliche* und *südliche* Halbkugel. Ferner zeichnet man die durch beide Pole gehenden gröſsesten Kreise, zum Beispiel Z P Q N S A Z, welche *Meridiane* oder *Mittagskreise* heiſsen. Indem man die dem Aequator parallelen Kreise so zeichnet, daſs sie auf diesen Meridianen allemal 10 Grade zwischen sich abschneiden, und indem man durch jeden zehnten Grad des Aequators einen Meridian zeichnet, theilt man die ganze Kugel in einzelne Felder, in welche die Sterne sich dann leicht nach ihrer geraden Aufsteigung und Abweichung eintragen lassen. Die Wichtigkeit, welche der Ort der Sonne für uns hat, giebt die Veranlassung, auch die Sonnenbahn, *die Ekliptik*, aufzuzeichnen, und dieses am besten, ehe noch die Sterne eingetragen sind, weil erst der eine Durchschnittspunct der Ekliptik mit dem Aequator, der Punct der *Frühlings-Nachtgleiche*, den Anfangspunct der geraden Aufsteigung angiebt. Um die Ekliptik aufzutragen, nimmt man von dem in seine einzelnen Grade getheilten Aequator $23\frac{1}{2}$ Grad, oder wenn die Gröſse der Kugel Minuten abzunehmen erlaubt, 23° 28′, und trägt diese auf irgend einem Meridiane vom einen Pole an auf, zeichnet um diesen neuen Pol, welcher den einen *Pol der Ekliptik* vorstellt, einen gröſsten Kreis der Kugel, welcher *die Ekliptik* ist, die den Aequator unter einem Winkel von 23° 28′ schneidet. Jenem Pole gerade gegen über trägt man den andern Pol der Ekliptik auf. Man zeichnet ferner um den Pol des Aequators einen durch den Pol der Ekliptik gehenden Kreis, denjenigen Kreis, welcher auf der Erde der *Polarkreis* heiſst, und um eben den Pol des Aequators einen 23° 28′ vom Aequator entfernten Kreis, welcher den *Wendekreis* vorstellt. Eben solche Kreise zeichnet man auch um den andern Pol des Aequators; G F, K I, stellen die Wendekreise vor, E D, T L, die Polarkreise. Die Sterne werden dann nach ihren geraden Aufsteigungen und Abweichungen aufgetragen, wobei zu bemerken ist, daſs wegen des Vorrückens der Nachtgleichen diese Aufzeichnungen nur einem bestimmten Zeitpuncte entsprechend seyn kann, und nach dem Laufe *vieler* Jahre die Himmelskugel nicht mehr mit dem Himmel übereinstimmt.

Fig. 83.

Damit man nun die Erscheinungen der täglichen Bewegung

nachahmen, und so nachahmen könne, wie es den verschiedenen Orten auf der Erde angemessen ist, dient die Einrichtung des Gestelles, dessen Haupttheile sich so übersehen lassen. In einem messingenen Ringe, APQSA, welcher der *Meridian* heiſst, wird die Kugel an den Polen des Aequators durch zwei Stifte festgehalten, so daſs sie sich um eine durch beide Pole gezogene Axe drehen kann. Dieser feste Meridian ist in seine 360 Grade getheilt und zwar so, daſs bei A und Q Null steht, bei P und S dagegen 90 Grade.

Dieser messingene Ring ruht in den einander gerade gegenüberstehenden Einschnitten des von vier Säulen unterstützten horizontalen Kreises HOR, welcher den *Horizont* vorstellt. Indem nämlich die Kugel mit ihrem Meridianringe in diesem Horizonte ruht, befindet sich die eine Hälfte der Himmelskugel über dem Horizonte, die andere unter dem Horizonte, und wenn man die Kugel um ihre Axe dreht, so gehen einige Sterne auf, während andre untergehen. Der Horizont pflegt eine hinreichend breite Fläche darzubieten, um nicht bloſs eine Eintheilung nach Graden und nach den Weltgegenden aufzutragen, sondern noch einen Kalender, die Länge der Sonne für jeden Tag und dergleichen aufzuzeichnen.

Damit nun die Kugel gerade diejenigen Sterne über dem Horizonte zeige, welche an einem bestimmten Orte über dem Horizonte erscheinen, giebt man dem festen Meridiane diejenige Stellung auf dem Horizonte, oder rückt ihn in seinen Einschnitten so herum, daſs der eine Pol, der Nordpol, wenn jener bestimmte Ort sich auf der nördlichen Halbkugel der Erde befindet, so hoch über dem Horizonte liegt, als es die Polhöhe des Ortes fordert. Da die Himmelsgegenden auf dem Horizonte bemerkt sind, so muſs man den Nordpol um so viele Grade über den Nordpunct des Horizontes erheben, als es die nördliche Polhöhe des Ortes fordert. Ich will in der Folge immer annehmen, der Beobachtungsort liege auf der nördlichen Halbkugel, indem sich die Anordnung für südliche Orte dann von selbst ergiebt. Hat man die Kugel so gestellt, so sieht man bei ihrer Drehung, welche Sterne durch das Zenith des Ortes gehen; man sieht für jeden einzelnen Stern, ob er für diesen Ort aufgeht oder immer unter dem Horizonte bleibt, oder ob er zu denen gehört, die nie untergehen und ihren ganzen scheinbaren Kreislauf über dem Horizonte vollenden; man sieht, welche Höhe

Digitized by Google

jeder Stern im Meridian erreicht, in welchem Puncte des Horizontes er aufgeht und untergeht. Damit man auch die Zeit seines Verweilens über dem Horizonte, und die Zeitpuncte, wo er gewisse Stellungen erreicht, bestimmen könne, dient die bei P angebrachte in 24 Stunden getheilte Scheibe mn, über welcher ein mit der Kugel sich drehender Zeiger sich fortbewegt. Es befindet sich nämlich in P, als Verlängerung der Drehungs-Axe, ein runder Stift, auf welchem der Zeiger mit erheblicher Reibung, jedoch so daſs man ihn mit der Hand herumschieben kann, während die Kugel ruhet, festsitzt. Wird also die Kugel gedrehet, so macht dieser gegen die Kugel in unveränderlicher Stellung verharrende Zeiger die Drehung mit, und durchläuft die Abtheilungen der Scheibe mn so wie ein Uhrzeiger. Bringt man einen Stern unter den festen Meridian und schiebt den Zeiger auf 12 Uhr, dreht aber dann die Kugel zum Beispiel so lange, bis der Zeiger auf 1 Uhr steht, so hat man die Stellung des Sternes, wie sie 1 Stunde Sternzeit nach seiner Culmination ist. Man pflegt einen beweglichen Gradbogen von 90 Graden Länge an der Himmelskugel zu haben, der an jedem Puncte des festen Meridians angeschraubt werden kann; befestiget man diesen mit seinem Ende im höchsten Puncte der Kugel, welcher hier das Zenith des Beobachters vorstellt, legt ihn an den Stern in der eben angegebenen Stellung, wie sie eine Stunde nach der Culmination ist, so kann man auf dem Gradbogen seinen Abstand vom Zenith ablesen, und sein Azimuth bestimmen, indem man auf dem Horizonte ablieset, wie weit vom Südpuncte der Gradbogen den Horizont trifft.

Die künstliche Erdkugel ist völlig ebenso eingerichtet und aufgehängt, nur daſs auf ihr die Länder, Meere, Inseln, Berge, Ströme aufgezeichnet sind. Auf ihr begrenzen die beiden Wendekreise die heiſse Zone, die beiden Polarkreise die kalten Zonen; die Ekliptik aber braucht auf der Erdkugel gar nicht aufgetragen zu werden.

Wie man diese Kugeln verfertigt, gehört nicht hierher; da man aber sehr gewöhnlich die auf den Globus aufzutragende Zeichnung auf ebene Flächen aufzutragen, und in einzelnen Streifen zum Aufkleben einzurichten pflegt, so muſs ich doch von der Zeichnung dieser Sectoren der Kugelfläche noch einige Worte sagen. Da kein Theil der Kugelfläche sich in eine Ebene

ausbreiten läſst, so ist die Forderung, Sectoren von der Form ABCD, zu zeichnen, die sich auf die Kugel auflegen lassen, nicht ganz genau zu erfüllen; man rechnet aber darauf, daſs die in der Ebene ungleich langen Linien ABC und AC durch einige Dehnung auf der Kugelfläche eine gleiche Länge erhalten werden, wenn nur die Breite BD nicht zu erheblich ist. Man bestimmt daher nach Maſsgabe der Gröſse der Kugel, wie viele solche Streifen man aufkleben muſs; bei kleineren Kugeln kann die Breite BD 30 Grade $= \frac{1}{6}$ AC betragen, bei gröſsern Kugeln von 2 Fuſs Durchmesser dürfen es nur 18 Grade seyn, oder BD $= \frac{1}{10}$ AC und so ferner. Für den letzteren Fall würde man die Regeln zur Zeichnung der Streifen so angeben können. Man berechnet aus dem gegebenen Halbmesser der Kugel $= r$, den halben Umfang $= r\pi$, und da ABC $= r\pi$ werden soll, OB aber $= \frac{1}{20}\, r\pi$, so muſs man auf BD den Mittelpunct E des Kreisbogens ABC so nehmen, daſs sich der Bogen AB zu seinem Quersinus BO verhalte, wie $1 : \frac{1}{10}$, und dieses findet statt,
Fig. 84.

wenn $AEB = 11\frac{1}{2}°$, also $AE = BE = \frac{r\pi}{2 \cdot 0{,}201} = r.\ 7{,}815$

ist. Mit diesem Radius werden die beiden Kreisbogen ABC, ADC gezeichnet, deren Länge $= r\pi$ wird, während die gerade Linie AC $= 3{,}116 . r$ etwas kürzer ist. Die Parallelkreise werden aus Bogen dfg zusammengesetzt, deren Radius man der Cotangente der geographischen Breite proportional nimmt. Die Vorsichten, die wegen der nicht bei jedem Papiere gleichen Zusammenziehung nach dem Abdruck, nöthig sind, muſs ich ganz übergehen[1].

## Gebrauch der künstlichen Himmels- und Erdkugel.

Die Aufgaben, die sich an der künstlichen Erdkugel auflösen lassen, sind mannigfaltig, und noch mehrere bieten sich bei

1 Pieter Smit wird als der erste angegeben, der in s. Cosmographia, of Verdeelinge van de geheele Wereld. Amsterd. 1720. die Gründe für diese Zeichnung angegeben hat. Doppelmayr in der Eröffnung der Bion'schen mathem. Werkschule 1721. Kästner de fasciis globis obducendis, in den Comm. soc. Gotting. 1778 und Lowitz in den Comment. soc. Gott. antiqu. Tom I. ad annum 1778. haben von diesen Regeln umständlicher gehandelt.

Digitized by Google

der Himmelskugel dar. Ich will nur einige der erheblichsten kurz erwähnen.

### 1. In Beziehung auf die Erdkugel.

Um den Abstand zweier Orte von einander zu messen und die Richtung, nach welcher hin man vom einen zum andern reisen muſs, zu bestimmen, stellt man die Kugel auf die Polhöhe des einen Ortes und bringt diesen unter den festen Meridian in den höchsten Punct der Kugel. Man befestigt hier den beweglichen Gradbogen, legt ihn so, daſs er an dem andern Orte anliegt, und sieht nun erstlich, wie viele Grade und Theile von Graden zwischen beiden Orten enthalten sind, woraus sich die Entfernung in Meilen leicht ergiebt; zweitens bemerkt man den Punct des Horizonts, wo der so gelegte Gradbogen einschneidet, und wenn dieser zum Beispiel genau Süd-Süd-Ost träfe, so wäre dieses die Richtung, nach welcher man vom ersten Orte zum zweiten reisen muſs.

Man will wissen, wie viel Uhr es in Calcutta ist, wenn es in London 3 Uhr ist. Um dieses an der Stundenscheibe abzulesen, bringt man Calcutta unter den Meridian und stellt den Stundenzeiger auf 3 Uhr, man dreht dann die Kugel so fort, daſs nach und nach die westlichern Orte unter den Meridian kommen, und zwar so lange, bis London im Meridian ist, dann giebt der Uhrzeiger an, wie viel Uhr in Calcutta mit 3 Uhr in London einerlei ist; denn da der Stundenzeiger um so viele Stunden fortgeht, als dem Längen-Unterschiede gemäſs ist, so hat Calcutta nun eine so viel spätere Zeit. Will man auf der Erdkugel die Antipoden eines Ortes suchen, so muſs man den Ort nehmen, welcher während der eine Ort unter dem festen Meridian ist, gleichfalls unter demselben an der andern Seite sich befindet, und zwar so tief unter dem Horizonte, als jener über demselben. Will man die Nebenwohner des Ortes finden, so stellt man am besten die Kugel so, daſs der Aequator mit dem Horizonte zusammen fällt, bringt den ersten Ort unter den festen Meridian, und sucht auf der andern Seite des Meridians den Ort auf, welcher eben so hoch über dem Horizonte steht. Die Gegenwohner endlich findet man, wenn man bei eben der Stellung der Kugel den Punct sucht, welcher auf *einerlei* Seite zugleich mit unter dem festen Meridiane steht, und sich eben so tief unter dem Horizonte befindet als jener Ort über demselben ist.

Digitized by Google

## 2. In Beziehung auf die Himmelskugel.

Schon oben ist gelegentlich erwähnt, daſs man den Himmelsglobus auf die Polhöhe des Ortes stellen muſs, für welchen man die Erscheinungen darstellen will; die zu beantwortenden Fragen sind dann ungefähr von folgender Art.

Wie lange Zeit verflieſst zwischen dem Durchgange zweier gegebener Sterne durch den Meridian? Man stellt den Uhrzeiger auf 12 indem der eine unter dem Meridiane ist, und dreht die Kugel bis der andre zum Meridiane kommt; die Zahl der Stunden auf dem Kreise der Stundenscheibe giebt den Zeit-Unterschied.

Man will wissen, in welchem Puncte des Horizontes ein Stern aufgeht und wie lange er über dem Horizonte bleibt. Um dies zu wissen, bringt man den Stern in den Meridian und den Uhrzeiger auf 12; man bringt den Stern nun bis zum Horizonte und sieht, um wie viele Stunden der Zeiger fortgerückt ist, wodurch man sogleich die halbe Zeit seines Verweilens über dem Horizonte erhält; der Punct des Horizontes, wo der Stern diesen erreicht, giebt zugleich die Himmelsgegend seines Untergangs oder Aufgangs an.

Will man die Tageslänge und den Aufgangs- oder Untergangspunct der Sonne finden, so muſs man aufsuchen, welches ihre *Länge* in der Ekliptik an diesem Tage ist, dieser Punct, den man in der auf der Himmelskugel gezeichneten Ekliptik leicht findet, wird dann ebenso behandelt, wie es so eben in Beziehung auf einen Stern angegeben ist.

Will man zu irgend einer Stunde der Nacht die Gestirne an der Himmelskugel in derjenigen Stellung gegen den Horizont sehen, wie sie dann wirklich stehen, so muſs man zuerst wieder die Kugel auf die Polhöhe des Ortes stellen, dann aber, da unsre Uhren nach Sonnenzeit gehen, den Ort der Sonne für diesen Tag in der Ekliptik aufsuchen. Diesen Punct, in welchem die Sonne sich an dem Tage gerade befindet, bringt man oberhalb des Horizontes unter den festen Meridian und stellt den Uhrzeiger auf 12; die so gefundene Stellung der Kugel zeigt dann die Lage der Gestirne gegen den Horizont um den Mittag des Beobachtungstags, und man muſs nun die Kugel soviel nach Westen fortdrehen, bis der Zeiger die verlangte Abendstunde angiebt, dann hat man die Stellung der Gestirne zu dieser Abend-

stunde und kann mit Hülfe der Himmelskugel sich leicht am Himmel orientiren. Will man einen Planeten am Himmel aufsuchen, so muſs man aus irgend einem astronomischen Kalender den Ort desselben für diesen Tag bestimmen, und auf der Kugel aufsuchen, wo man dann leicht übersieht, zu welcher Stunde man ihn bequem auffinden kann.

Manche Aufgaben sind von der Art, daſs sie eine sorgfältige Zahlenberechnung nicht gerade verdienen, und diese löst man daher gern mit Hülfe der Himmelskugel auf. Dahin gehört die Frage nach den bei den Dichtern vorkommenden Aufgängen und Untergängen der Gestirne. Aber wenn man die Frage, wann Sirius den Aegyptiern akronyktisch oder kosmisch aufging[1], beantworten will, so reicht es nicht zu, die Kugel auf die Polhöhe jener Gegend zu stellen, sondern man müſste auch die Umdrehungspole der Kugel selbst so wählen, wie es für jene Zeiten angemessen war[2].

Die Zeit, da die Dämmerung an irgend einem Tage sich endiget, findet man, wenn man einen mit dem Horizonte parallelen Kreis, 18 Grade unterhalb entfernt von demselben anbringt, und bei richtiger Stellung der Kugel nach der Polhöhe des Ortes, an der Stundenscheibe bestimmt, zu welcher Zeit der Punct, wo die Sonne sich an dem gegebenen Tage befindet, diese Tiefe unter dem Horizonte erreicht.

Unter den zahlreichen Werken, welche Anleitung zu solchen Anwendungen der Himmelskugel geben, zeichnete sich sonst das von Scheibel[3] aus, und noch immer ist es ein brauchbares Buch. Eine ähnliche Anleitung geben Voigt[4] und Prändel[5]. Das Nöthigste findet man indeſs auch in den die ganze Astronomie oder mathematische Geographie umfassenden populären Schriften.

---

1 S. Art. *Aufgang.*

2 Cassini (Mém. de Paris. 1708. hist. 93.) hat Vorschläge dazu gethan, und einen so eingerichteten Globus besessen. Aehnliche Einrichtungen sind auch angegeben: Phil. Tr. for 1738. Vol. XL. p. 201.

3 Vollständiger Unterricht vom Gebrauche der künstl. Himmels- und Erd-Kugel. Breslau 1785. 8.

4 Kosmographische Entwickelung der vornehmsten Begriffe und Kenntnisse, welche bei der zweckmäſsigen Benutzung der künstlichen Himmels- und Erd-Kugel erforderlich sind. Weim. 1810.

5 Erdglobuslehre. Amberg 1809.

Digitized by Google

## Historische Notizen.

Die Modelle der Himmelskugel bei den Alten, von welchen Fabricius redet[1], sind nach Gehler's Meinung gröſstentheils Armillarsphären gewesen. Gassendi giebt an, daſs Eudoxus von Knidus 190 Jahre vor Christo die Sternbilder nach Aratus auf eine Sternkugel aufgetragen habe. Für Erdkugeln giebt Ptolemaeus Regeln an[2]. Aus den Zeiten der Araber sind einige Himmelskugeln auf unsre Zeiten gekommen[3], die im 13. Jahrhundert verfertigt seyn müssen. In den spätern Zeiten haben Regiomontanus, Schoner, Hartmann und Andre Himmelskugeln verfertigt; Behaim hat, (nach Doppelmayr's Erzählung[4] gegen das Ende des 15. Jahrh. künstliche Erdkugeln verfertiget. Im 16. Jahrh. zeichnete sich Fracastori in Italien, Gemma Frisius, Gerh. Mercator und Jodocus Hond durch Verfertigung künstlicher Erdkugeln aus, und Tycho de Brahe brachte 1583 eine messingne Himmelskugel von 6 Fuſs Durchmesser zu Stande. Wilh. Janson und Joh. Janson Blaeu oder Caesius in Amsterdam waren in ähnlicher Hinsicht im 17. Jahrh. berühmt. Eine Erdkugel von 7 Fuſs Durchmesser von Wilh. Blaeu's Erben soll noch in der Kunstkammer in Petersburg aufbewahrt werden. Andreas Busch aus Limburg erbaute (1656 bis 1664) für den Herzog Friedrich von Holstein eine Kugel von 11 Fuſs Durchmesser; sie stellte von innen den Himmel, von auſsen die Erde vor, und hatte innen an der Axe einen Tisch, auſsen am Horizonte eine Gallerie. Sie soll gleichfalls in Petersburg aufbewahrt werden. Von Erh. Weigel's Kugeln[5] soll eine, worin 30 Personen Raum hatten, sich noch in Copenhagen befinden.

Im Anfange des 18. Jahrh. zeichnete Vincenz Coronelli sich durch Arbeiten dieser Art aus, und verfertigte für Ludwig

1 Biblioth. graeca L. IV. cap. 14. p. 455; auch p. 95.

2 Ptol. Geogr. I. c. 22.

3 Beigel's Nachricht von einer arabischen Himmelskugel mit cufischer Schrift, im Berl. Jahrbuch. 1808. S. 97. und Assemanni globus caelestis cufico-arabicus Musei Borgiani illustratus. Patavii 1790.

4 Nachricht von Nürnbergischen Mathematicis und Künstlern. Nürnb. 1750. S. 1.

5 Beschreibung der verbesserten Himmels - und Erdgloben. Jena 1681.

Digitized by Google

XIV. zwei Kugeln von 13 Fuſs Durchmesser. Gerh. Valk, de l'Isle, Moll, und in Deutschland Ludwig Andreae in Nürnberg, die Homann'sche Officin, Endersch in Preussen lieferten viele Globen. Später 1752 hat noch Rob. de Vaugondy eine 6 füſsige Kugel geliefert, und die kosmogr. Gesellsch. in Upsala, Adams in London, La Lande in Paris sich damit beschäftigt[1]; so auch Bode in Berlin und Klinger in Nürnberg, welchem Franz in Nürnberg folgte. Die von Riedig in Leipzig bis zu 15 Par. Zoll Durchmesser verfertigten Himmels- und Erdkugeln (ehemals bei Schreiber's Erben in Leipzig, jetzt Schropp in Berlin) gehören zu den Vorzüglichen, aber auch die vom Industrie-Comptoir in Weimar sind gut.

Einige Vorschläge, wie man die Globen so einrichten solle, daſs sie für alle Zeiten angemessen gestellt werden können, habe ich oben erwähnt. Von Bertier's Globen, die als Sonnen-Uhren dienten, um die Zeit anzugeben, wenn sie auf die richtige Polhöhe gestellt waren, findet sich in den Pariser Memoiren nur eine sehr kurze Beschreibung[2]. *B.*

## Hodometer.

Wegmesser; Schrittzähler; *Perambulator*, *Viatorium*; Hodomètre; *Hodometer*, *Pedometer*, *Perambulator*; bezeichnet diejenigen Werkzeuge, vermittelst deren man die Länge eines zurückgelegten Weges oder bei wirklichen Vermessungen die Entfernung gewisser Puncte von einander zu bestimmen suchte. Die Idee ist sehr alt, denn schon Vitruv[3] beschreibt einen solchen für Wagen und Schiffe bestimmten Apparat, und Julius Capitolinus[4] deutet gleichfalls darauf hin. Im Jahre 1550 bediente sich Joh. Fernel, Leibarzt der Königin Katharina von Medicis eines Hodometers bei seiner bekannten Gradmessung zwischen Paris und Amiens, welcher aus einer Vorrichtung bestand, daſs ein Hammer bei jeder Umdrehung des Rades an eine Glocke im Wa-

---

1 Ich bin hier fast ganz Gehler's Angabe gefolgt.

2 Mem. de Paris pour 1770. hist. p. 117.

3 De Architectura L. X. c. 14.

4 Beckmann Beiträge zur Gesch. d. Erf. I. 16.

Digitized by Google

gen anschlug. Einen andern soll Kaiser Rudolph II. um 1580 erfunden haben, und Levin Hulsius beschreibt einen gleichzeitig durch Paul Pfinzing, Rathsherrn in Nürnberg erfundenen, welcher noch jetzt in der Kunstkammer zu Dresden befindlich seyn soll[1]. Ebendaselbst findet man den Wegmesser, dessen sich Kurfürst August von Sachsen um jene Zeit bediente. Sauveur[2], Meynier[3], Outhier[4], Boistissandeau[5] und Zürner werden gleichfalls als Erfinder oder Verbesserer dieser Werkzeuge genannt, und letzterer bediente sich einer solchen Maschine bei der sächsischen Landesvermessung[6]. Auch in England wurden durch Edgeworth[7], Tugwell[8], Gout[9] und andere Apparate dieser Art erfunden oder verbessert[10]. In Deutschland wurde hauptsächlich derjenige Wegmesser bekannt, dessen sich Nicolai auf seinen Reisen bediente, eine Erfindung des Kaufmanns Catel in Berlin[11], noch mehr aber und allgemeiner der durch Hohlfeld erfundene, welchen J. A. de Lüc auf seinen Reisen mit sich führte[12], und mit welchem man schon zu Brander's Zeiten, so wie auch später bei der entworfenen sächsisch-preuſsischen Gradmessung vorläufig die Standlinien auszumessen pflegte. Ganz neuerdings hat derselbe eine eben so sinnreiche als wesentliche Verbesserung erhalten. Bloſs diese verdienen hier eine Beschreibung, weil sie in der Naturlehre als Anwendungen der Gesetze des Schwerpunctes genannt zu werden pflegen.

Hohlfeld's Schrittzähler zuvörderst ist ein sehr einfach
Fig. aber sinnreich gebaueter Apparat. Die vier sichtbaren Zeiger
85. geben durch die auf sie gezeichneten Ziffern die Zahl der Schritte

1 Kleine Chronik Nürnberg's Altorf. 1790. S. 76.

2 Bion mathem. Werkschule, verb. durch Doppelmayr. Nürnb. 1741. S. 101.

3 Hist. de l'Acad. 1724. p. 96. Mach. et invent. approuv. IV. 93.

4 Ebend. 1742. p. 143. Mach. et inv. app. VII. 175.

5 Hist. de l'Acad. 1744. p. 61.

6 Jablonskie allgem. Lexicon. Leipz. 1767. II. p. 1730.

7 Bailey's Mach. I. 59.

8 Repertory of Arts. VI. 249.

9 Ebend. XIII. 73.

10 Encyclop. Brit. Art. Perambulator.

11 Nicolai Reis. durch Deutschl. I. Vorr.

12 Lichtenb. verm. Schrift. VI. 161.

Digitized by Google

an, welche gemacht sind. Mit der vorderen, 4 Z. langen und 1,5 Z. breiten messingnen Scheibe a b c d läuſt eine zweite hintere parallel, und beide haben zwiſchen ſich einen Raum von 2 Lin., in welchem die den Zeigern zugehörigen Räder und Getriebe liegen. Jeder Zeiger hat nämlich ein Rad mit 60 Zähnen und ein Getriebe mit 6 Zähnen, ſo daſs das Getriebe 10 mal umlauſen muſs, um das ihm zugehörige, am nächstſolgenden Zeiger beſestigte Rad einmal herumzudrehen, weswegen denn die Bewegungen der ſolgenden Zeiger im Verhältniſs von 1:10:100:1000 an Geſchwindigkeit abnehmen. Bloſs der oberste Zeiger hat kein Getriebe, weil er kein ſolgendes Rad mehr in Bewegung setzt, der unterste Zeiger aber enthält statt des Rades eine Scheibe, welche durch den Mechanismus des Gehens umgedrehet wird, und dadurch seinen eigenen, ſo wie alle ſolgenden Zeiger, in Bewegung setzt. Der Hebelarm a b nämlich, welcher durch eine Feder in der angegebenen Lage erhalten wird, Fig. 86. und um einen zwiſchen b und c liegenden Ruhepunct beweglich ist, enthält einen federnden Fortsatz b c, dessen Ende c hinter die Zahne der Scheibe $\alpha$; $\beta$; $\alpha'$; $\beta'$.... greiſt. Wird dann der Hebelarm a an dem Faden a f herabgezogen, ſo ſchiebt der bewegte Hebelarm b c den Zahn $\alpha$ vorwärts, und drehet dadurch die Scheibe ſo weit um ihre Axe, bis eine zweite Feder d e hinten den Zahn $\alpha'$ faſst, und der Scheibe das Rückgehen unmöglich macht. Sobald man aber den Faden a f nachläſst, drückt die erstgenannte Feder den Hebel wieder in seine anfängliche Lage, und das federnde Ende c zieht ſich über den nächstſolgenden Zahn zurück, bis es hinter denselben in $\beta$ eingreiſt. Bei einem zweiten Zuge ſchiebt dasselbe diesen Zahn gleichfalls vorwärts, bis d e den Zahn $\beta'$ festhält, und wenn man daher den ganzen Schrittzähler in seinem Futterale vermittelst eines Hakens im Gürtel befestigt, an den Faden a f eine elastiſche Schnur knüpft und deren Ende am Fuſse befestigt, ſo wird der Hebelarm a b bei jedem Schritte herabgezogen, und die Zeiger geben die Zahl der Schritte an. Die starke Feder g h am unteren Bleche des Apparats dient dazu, den Hebel a b d jederzeit Fig. 87. wieder zurück zu drücken.

Das Hodometer, welches Hohlfeld erfand, oder vielmehr nach früheren Entwürfen verbesserte, wird entweder dreieckig oder besser rund gemacht, und ist nach einem Exemplare, welches ich habe verfertigen laſsen, von folgender Beſchaffenheit.



Digitized by Google

Das Ganze besteht aus einem Cylinder von 5 Par. Z. Durchmesser, einen starken Ueberzug von sehr dickem Leder mitgerechnet, und 2,25 Z. Höhe. Rechnet man den Raum des Zifferblattes mit, welcher durch einen starken Deckel von Messing mit zwischenliegendem Leder fest zugeschroben, und auf diese Weise gegen das Eindringen des Staubes und Wassers auch bei längerem Eingetauchtseyn in letzteres völlig gesichert ist, so wird der ganze Cylinder durch den Boden und das Zifferblatt nebst noch einem, beiden parallelen Bleche in drei Räume getheilt, deren erster die Zeiger, der zweite die Räder und der
Fig. 88. dritte ein dreieckiges Bleigewicht enthält. Letzteres bildet einen Kreissector a b c, ist 2 bis 2,5 Lin. dick und daher beträchtlich schwer, und an einer in Zapfenlöchern leicht beweglichen Axe *a* festgemacht, welche am vorderen, durch das Zifferblatt gehenden Ende einen langen Zeiger trägt. Indem aber der Schwerpunct dieses Bleigewichtes nicht weit über eine von b bis c gezogne Linie, also bedeutend unter *a* fällt, so muſs dasselbe allezeit herabhängen, wenn der Cylinder um seine Axe gedrehet wird, und die Zeigerspitze durchläuft also bei einer solchen ganzen Umdrehung einen ganzen Kreis auf dem Zifferblatte.

In der mittleren Abtheilung des Cylinders hat diese Axe, woran das Bleigewicht hängt, ein Getriebe mit 6 Zähnen, in welches ein Rad mit 60 Zähnen eingreift, dessen Axe gleichfalls durch das Zifferblatt hervorragt, und daselbst einen Zeiger trägt, welcher hiernach bei 10 Umdrehungen des Cylinders um seine Axe einen ganzen Kreis durchläuft. Dieser ist in 10 Theile getheilt, und jede zugehörige Zahl giebt also von 1 bis 10 die Umdrehungen des Cylinders um seine Axe an. Nach einem
Fig. 89. gleichen Systeme sind auf dem Zifferblatte noch fünf andere Zeiger vorhanden, im Ganzen also die in der Figur gezeichneten sieben, und die eingeschriebenen Zahlen geben den Werth der Abtheilungen an, welche der Zeiger durchläuft. Ist dann das Hodometer zugeschroben und mit seinem ledernen Futterale überzogen, nachdem man alle Zeiger auf 0 gestellt hat, wird es ferner auf einer geeigneten Unterlage von Holz zwischen zwei Speichen des Wagenrades mit einem Riemen festgeschnallt, so drehet sich der am Bleigewichte befestigte Zeiger a gleichzeitig mit jeder Umdrehung des Wagenrades einmal um, und der ihm zunächst stehende kleinere b, dessen Rad in das Getriebe von

Digitized by Google

jenem eingreift, rückt um $\frac{8}{80}$ oder $\frac{1}{10}$ seines Kreises weiter, er zeigt auf die Zahl 1 oder er zeigt die erste Umdrehung des Rades an. Indem auf gleiche Weise das Zählen der Radumläufe durch diesen und die folgenden Zeiger fortgesetzt wird, darf man am Ende des zurückgelegten Weges nur die Zahlen, über welche die Zeiger b; c; d; e; f; g wirklich hinausgegangen sind, von der Rechten zur Linken nach der dekadischen Ordnung hinschreiben und mit dem Umfange des Rades in einem bequemen Maſse ausgedrückt multipliciren, um die Länge des zurückgelegten Weges in dem gewählten Maſse ausgedrückt zu erhalten, indem bei jedem Umlaufe des Rades dessen Umfang auf dem Wege sich hinwälzt oder gleichsam niederlegt. Dabei versteht sich von selbst, daſs man die gehörige Aufmerksamkeit anwenden müsse, um zu verhüten, daſs nicht beim Schmieren des Wagens das Rad, wie gewöhnlich zu geschehen pflegt, etlichemale herumgeschwungen werde, weil widrigenfalls das Hodometer auch diese Umdrehungen mit zählt.

Ist das Werkzeug auf die beschriebene Weise nach den angegebenen Dimensionen verfertigt, so lassen sich Standlinien und Wege, erstere für vorläufige Bestimmungen bei groſsen geodätischen Operationen, letztere definitiv für den Zweck des Chaussee-Baues mit hinlänglicher Genauigkeit vermittelst desselben messen. In diesem Falle wird die zu messende Strecke vorher mit einer Walze geebnet, das Hodometer aber in ein absichtlich für diesen Zweck verfertigtes Rad gesetzt, welches einen ebenen und genau gemessenen Umfang hat, und auf einer Axe zwischen zwei Bäumen nach Art eines Schubkarrenrades umläuft. Um die Bewegung dieses Rades gleichmäſsiger zu machen und nicht durch die der übrigen Räder zu stören, wie bei einem gewöhnlichen Wagen unvermeidlich ist, werden dann die Bäume von einem Menschen gehoben, und das Rad wälzt sich sanft über die geebnete Fläche hin, wobei nur hauptsächlich auf Beibehaltung der geraden Richtung zu sehen ist. Minder genau fällt die Messung aus, wenn man den Apparat in das Rad eines gewöhnlichen Wagens schnallt, inzwischen hat er auch hierfür Dauerhaftigkeit genug, wenn er anders mit der erforderlichen Sorgfalt gearbeitet ist. Zu diesem Ende und mit Rücksicht auf die möglicherweise erforderlichen Reparaturen wird der hintere Deckel auf eine Unterlage von Leder mit Fett getränkt festgeschroben, nach Wegnahme desselben und Los-

machung des Bleigewichtes kann ferner das Zwischenblech zwischen der hinteren und mittleren Abtheilung weggenommen werden, um zum Räderwerke zu kommen, das Zifferblatt dagegen ist festgelöthet, und wird durch seinen Deckel auf einem den Rand bedeckenden ledernen Ringe vermittelst eines eigenen Schlüssels völlig wasserdicht verschlossen. Endlich ist der ganze Apparat auswärts mit einem fetten Firniſs zur Abhaltung des Wassers stark überzogen, und in ein Futteral von dickem Leder eingeschlossen. Die Einheit beim letzten Zeiger beträgt 100000, das Hodometer zählt demnach eine Million Umdrehungen des Rades, und wenn man den Umfang des Rades zu 15 F. annimmt, so miſst dasselbe 15 Millionen Fuſs, oder, die geographische Meile zu 22841 F. angenommen, 656 Meilen, ohne daſs man nöthig hat, auf dieser langen Strecke nur einmal nachzusehen, wenn dieses nicht aus andern Gründen wünschenswerth ist. Bei dieser Vollkommenheit des Instrumentes weiſs ich nicht, ob dasselbe durch das sogleich zu beschreibende übertroffen wird, und wenn dieses wirklich der Fall ist, so kann der Grund nur in dem dabei angewandten höchst sinnreichen Mechanismus liegen.

Wer der Erfinder des zunächst folgenden Hodometers sey, kann ich nicht angeben, erinnere mich aber sehr genau im Jahre 1825 von dem bekannten Mechaniker Lueders in Göttingen gehört zu haben, daſs Liebherr in München Wegemesser verfertige, wobei er die bekannten *hunting wheels* der Engländer in Anwendung bringe. Der näher von ihm beschriebene Mechanismus war der nämliche als bei demjenigen, dessen sich nach Dingler's Angabe[1] Colclough auf seinen Reisen bediente. Das ganze, in natürlicher Gröſse abgezeichnete Instrument
Fig. 90. besteht aus einem starken messingnen Bleche a a, an dessen oberem Rande ein hohler Cylinder b b fest verbunden ist. Durch die Höhlung von diesem geht sehr willig eine Schraube ohne Ende, welche an dem einen Ende vierkantig und mit einem Kranze versehen ist, um nicht tiefer in den Cylinder hineinzugehen, am andern aber in eine männliche Schraube endet, auf welche das Ende f mit dem ränderirten Kranze so geschroben wird, daſs sich die Schraube ohne Ende willig in dem hohlen

1 Polytechnisches Journ. XXV. 95. entlehnt aus Bulletin de la Soc. d'Encouragement. Nro. 271. p. 12.

Digitized by Google

Cylinder drehen läſst. Der Cylinder ist entweder in der Mitte zwischen cc ganz, oder nur am unteren Theile bis in die Mitte aufgeschnitten, so daſs die Schraube ohne Ende daselbst sichtbar wird. Auf dem starken Bleche aa sind aufliegend zwei gleich groſse, um die gemeinschaftliche Axe g bewegliche Räder nn, in deren Zähne die Schraube ohne Ende cc eingreift, und bei jeder eigenen Umdrehung um einen Zahn weiter schiebt, oder vielmehr gleichfalls um ihre Axe drehet. Hierbei besteht dann die sinnreiche Einrichtung, daſs das eine, auf der Messingscheibe zunächst aufliegende Rad, dessen Theilung unter den Stäben mmm hervortritt, nur 99, das über demselben befindliche aber 100 Zähne hat, eine unmerkliche Differenz, welche auf alle Zähne gleichmäſsig vertheilt es nicht hindert, daſs beide Räder durch die nämliche Schraube ohne Ende umgedrehet werden. Indem aber bei jeder Umdrehung der Schraube ohne Ende cc beide Räder um einen Zahn weiter rücken, die Zähne des vordern aber mit seiner Theilung hh zusammenfallen, so giebt der Zeiger d mit seiner herabgehenden Spitze die Zahl der Umdrehungen jener Schraube e unmittelbar an. Auf dem hervorstehenden Rande dieses Rades befindet sich dann der kleine Zeiger i, welcher bis auf die Theilung des hinteren, der Messingscheibe zunächst anliegenden Rades herabgeht. Nach 100 Umdrehungen der Schraube ist dann das hintere Rad um einen Zahn zurück, und da die Theilung auf demselben der Zahl seiner Zähne correspondirt, so zeigt der Zeiger i dann auf 1 der Theilung, und giebt somit die Hunderte der einzelnen Umdrehungen der Schraube ohne Ende an, welche der Zeiger d bezeichnet; beide Zeiger zählen diesemnach zusammengenommen $99 \times 100$ oder 9900 Umdrehungen der Schraube. Um diese Zahl noch zu vervielfältigen, ist der nach seiner Seiten-Ansicht besonders gezeichnete Zeiger k angebracht, welcher in l auf dem Fig.
Rande des äuſseren Rades um einen Stift drehbar mit einer un- 100.
terwärts herabgehenden Spitze m in die spiralförmigen Windungen auf der Fläche des der Messingscheibe zunächst anliegenden, oder hinteren Rades eingreift. Nach 9900 Umdrehungen der Schraube ohne Ende ist dann das hintere Rad um eine ganze Umdrehung zurückgeblieben, der Zeiger k aber um eine Windung der Spirale weiter gerückt, und zeigt auf seiner Theilung, welche auf dem hierfür eigends gebogenen Radius m' aufgetragen ist, die Zahl 1, nach abermals 9900 Umdrehungen die

Zahl 2, und hat die Spirale, wie in der Figur, 6 Windungen, so geben alle drei Zeiger zusammengenommen $6 \times 9900 = 59400$ Umdrehungen der Schraube ohne Ende an. Das Hodometer wird dann, nachdem f abgeschroben und die Schraube gelüftet ist, um die beiden Räder frei zu bewegen und alle drei Zeiger auf 0 zu stellen, in dieser letzten Anordnung wieder hergerichtet, auf eine solche Weise in eine eiserne oder messingne Büchse gebracht, daſs die beiden kantigen Enden der Schraube in den Wandungen derselben unbeweglich feſtsitzen, während das Hodometer selbst durch sein eigenes Gewicht oder wenn dieses nicht genügt, durch ein unten angebrachtes Bleigewicht beim Umdrehen der Büchse um deren Axe allezeit lothrecht herabhängt, und sich um die feste Schraube umdrehet; die ganze Büchse wird dann zwischen zwei Speichen eines Wagenrades so gestellt, daſs die Axe der Schraube mit der Axe des Rades parallel ist, wonach also das Hodometer sich bei jeder Umdrehung des Rades einmal um die Axe seiner Schraube drehet, folglich die Umdrehungen des Rades zählt und hiernach die Länge des Weges miſst, auf welchem sich der Umfang des Rades wiederholt hingewälzt hat.

Vergleichen wir die beiden beschriebenen Hodometer mit einander, so verdient das letztere wegen seiner groſsen Einfachheit und seines sinnreichen Mechanismus entschieden den Vorzug, auch glaube ich, daſs dasselbe bei gleich sorgfältiger Ausführung dauerhafter ausfallen wird, als das von Hohlfeld angegebene. Dagegen gewährt dieses den Vortheil, daſs der Umfang seines Zählens über 16 mal gröſser ist, denn es zählt bis eine Million Umdrehungen, statt daſs dieses nicht bis 60000 reicht. Die Spirale läſst sich allerdings mehr vervielfachen, allein ich glaube nicht, daſs sie füglich mehr als 10 Windungen haben kann, in welchem Falle das Hodometer 99000 Umdrehungen des Rades zählen würde, und daher nur ein Zehntheil von denjenigen zu erreichen vermöchte, welche jenes zählt. Neben diesem hat das Hohlfeld'sche Hodometer noch den Vorzug, daſs man von demselben den Deckel abschrauben kann, um die Zahlen des Zifferblattes abzulesen und erforderlichen Falls die Zeiger wieder auf 0 zu stellen, ohne das ganze Instrument aus dem Rade zu nehmen, welches bei dem zuletzt beschriebenen mindestens nicht so leicht geschehen kann.

*M.*

Digitized by Google

# Höhe eines Ortes.

*Altitudo loci;* Hauteur d'un lieu; *Height of a place.*

Die Höhe eines Punctes über einer Ebene ist die Länge des von jenem Puncte auf diese Ebene gefällten Perpendikels. Sofern wir also bei nahe liegenden Orten die Horizontalfläche als Ebene ansehen, denken wir uns durch den einen Ort eine solche Ebene gelegt, um die Höhe des andern über diesem zu bestimmen.

Bei weiter von einander entlegenen Puncten denken wir uns durch den einen eine Kugelfläche, deren Mittelpunct mit dem Mittelpuncte der Erde zusammenfällt, und ziehen vom andern einen Radius nach dem Mittelpuncte der Erde, dessen auſserhalb jener Kugelfläche liegender Theil die *Höhe des letztern über dem erstern ist.* Wenn man ohne weitere Bestimmung von der Höhe eines Ortes spricht, so versteht man die Höhe über der Meeres-Oberfläche, oder denkt sich die Oberfläche des Meeres als ein regelmäſsiges Sphäroid, bis dahin fortgesetzt, wo der Ort sich befindet, dessen Höhe angegeben werden soll; die von diesem Puncte auf die Fläche des Sphäroids gezogene Normallinie ist dann die Höhe des Punctes.

Die Mittel zur Höhenmessung sind das Nivelliren, trigonometrische Messungen und barometrische Messungen. Da von den letztern und auch vom Nivelliren[1] besonders gehandelt wird, so will ich nur von den trigonometrischen Höhenmessungen einige Worte sagen. Sie kommen darauf hinaus, daſs man mit einem Winkel-Instrumente die scheinbare Höhe des Punctes, den man bestimmen will, an dem Orte abmesse, von dessen Horizonte aus die Höhenangabe gerechnet werden soll. Da man den Einfluſs der Krümmung der Erde mit vollkommener Genauigkeit in Rechnung bringen kann, so können hier nur aus zwei Umständen Fehler hervorgehen; aus Unrichtigkeit der Beobachtung und aus unrichtiger Berechnung der Strahlenbrechung. Bei der groſsen Genauigkeit unserer Wasserwaagen und unserer getheilten Kreise, kann die erstere Unrichtigkeit in sehr enge Grenzen beschränkt werden, denn da 1 Sec. Fehler in der Höhenbestimmung selbst auf 100000 Fuſs Entfernung nur $\frac{1}{2}$ Fuſs Fehler hervorbringt, so wird dieser Fehler selbst bei einer Un-

1 S. *Wasserwägen.*

Digitized by Google

sicherheit von einigen Secunden nie erheblich seyn. Desto mehr ist aber ein von der Refraction abhängender Fehler zu fürchten. Gegenstände am Horizonte ändern bei verschiedenem Zustande der Luft ihre scheinbare Höhe um mehrere Minuten, und obgleich diese Aenderung geringer ist, wenn der Beobachter sich selbst ziemlich hoch über der zwischen ihm und dem beobachteten Gegenstand liegenden Ebene befindet, so bleibt der Einfluſs des Zustandes der Luft immer noch bedeutend. Man sieht in vielen Fällen Gegenstände, die für geradlinige Lichtstrahlen hinter der Wölbung der Erde versteckt seyn sollten, und sieht zu andern Zeiten diese Gegenstände nicht u. s. w.[1]. Wenn man von beiden Puncten aus gegenseitige Messungen in gleichen Zeitmomenten machte, so würde man in jedem Falle wichtige Belehrung erhalten, und wenn man einen Zeitmoment träfe, wo der Winkel, den die Verticallinien mit einander machen, zusammen genommen mit den Winkeln, die zwischen der Gesichtslinie und den nach dem Nadir gerichteten Linien, 180° machte, so könnte man annehmen, daſs da die Lichtstrahlen geradlinig fortgegangen wären. Wegen dieser durch die Strahlenbrechung bewirkten Unsicherheit sind manchmal auch die trigonometrischen Höhenmessungen, die man sonst mit Recht als Probe für die barometrischen ansieht, fehlerhaft, und bei Gegenständen, die sehr nahe an der Oberfläche des Meeres oder einer Land-Ebene liegen, darf man sich gar nicht darauf verlassen.

*B.*

## Höhe eines Gestirns.

*Altitudo astri;* Hauteur d'un astre; *apparent altitude.* Die scheinbare Höhe eines Gestirns über dem Horizonte wird durch den an der Himmelskugel gezeichneten, von dem Gestirne senkrecht auf den Horizont gezogenen Bogen abgemessen, oder sie ist gleich dem Winkel, dessen Spitze im Auge des Beobachters, dessen einer Schenkel horizontal und der andere Schenkel nach dem Gestirne zu gerichtet ist. Diese

---

1 Zu welchen seltsamen Schlüssen Höhenbestimmungen, bei denen auf die ungleiche Strahlenbrechung nicht gesehen würde, führen könnten, zeigen Beispiele in Brandes Unters. über die Strahlenbrechung. S. 9. 10.

Digitized by Google

Höhe des Gestirnes macht mit dem Abſtande vom Scheitel 90 Grade.

Wenn der Beobachter sich nicht auf einer erheblichen Höhe befindet, und wenn zugleich der Horizont frei ist, so ist beim Erscheinen eines Gestirns über dem Horizonte seine Höhe $= 0$, und ohne Rücksicht auf die zufällige Stellung des Beobachters nennen wir diejenige Zeit die Zeit des Aufgangs, wo des Gestirns Abstand vom Scheitel 90°, seine Höhe $= 0°$ ist. Die Gestirne erreichen ihre gröſste Höhe im Meridian. Wenn man mit der Höhen-Angabe die Bestimmung des Azimuth verbindet, so ist die Lage des Gestirns für einen gegebenen Augenblick völlig bestimmt.

*Correspondirende Höhen* nennt man die gleich groſsen Höhen, die ein Gestirn vor und nach der Culmination erlangt. Sie sind wichtig, weil bei einem Gestirne, welches seine Declination in der Zwischenzeit nicht ändert, aus der Zeit der gleichen Höhe die Zeit der Culmination als gerade in der Mitte zwischen beiden liegend, unmittelbar gefunden wird. Die correspondirenden Sonnenhöhen geben so die Zeit des wahren Mittags an, doch muſs man bei dieser Bestimmung darauf Rücksicht nehmen, daſs die Sonne in der Zwischenzeit ihre Declination ändert. Die Hauptformel für diese Correction läſst sich leicht finden. Da nämlich[1], wenn h die Höhe, $\varphi$ die geographische Breite, $\delta$ die Declination des Gestirns bei der einen, $\delta + d\delta$ bei der andern Beobachtung und $\varsigma$ der Stundenwinkel bei der einen, $\varsigma + d\varsigma$ bei der andern Beobachtung ist, $\text{Sin. } h = \text{Sin. } \varphi \text{ Sin. } \delta + \text{Cos. } \varphi . \text{ Cos. } \delta . \text{ Cos. } \varsigma$, und auch $\text{Sin. } h = \text{Sin.} \varphi \text{ Sin.} (\delta + d\delta) + \text{Cos.} \varphi \text{ Cos.} (\delta + d\delta) \text{ Cos.} (\varsigma + d\varsigma)$ gefunden wird, so muſs $0 = d\delta . \text{ Sin. } \varphi \text{ Cos. } \delta - d\delta \text{ Cos. } \varphi \text{ Sin. } \delta \text{ Cos. } \varsigma - d\varsigma \text{ Cos. } \varphi \text{ Cos. } \delta \text{ Sin. } \varsigma$ oder $d\varsigma = d\delta \left( \frac{\text{Tang.} \varphi}{\text{Sin. } \varsigma} - \text{Tang. } \delta \text{ Cotang. } \varsigma \right)$ seyn, und diese Correction ist zureichend, weil die Declination sich zwischen den beiden Beobachtungen eines Tages nicht erheblich ändert. Man findet in den Sonnentafeln eine hiernach berechnete Tafel, welche die Correction des aus gleichen Höhen abgeleiteten Mittags enthält. von Zach hat sie

1 Vergl. Art. *Abstand vom Scheitel.*

allgemeiner gemacht, um sie auch auf die gleichen Höhen der Planeten anzuwenden [1].

Da die Beobachtung gleicher Höhen oft vereitelt wird, indem man Nachmittags zum Beispiele die Sonne in dem Augenblicke nicht sieht, wo sie in der bestimmten Höhe erscheinen sollte, so hat man die Zeitberechnung aus halb - correspondirenden Höhen, das ist aus solchen, wo eine wenig verschiedene Reihe von Höhen Nachmittags mit einer früh beobachteten Höhenreihe verglichen wird, abzuleiten gelehrt [2].

Wie man aus einer Reihe von Höhenbeobachtungen, die z. B. mit dem Wiederholungskreise schnell nach einander angestellt sind, ohne jede einzelne Beobachtung zu berechnen, die Zeit findet, wie man gleiche Höhen verschiedener Sterne anwendet u. s. w. lehren die Handbücher der Astronomie [3]. *B.*

## Höhenmessung.

Barometrische; *altitudinum mensuratio ope barometri;* mesure des hauteurs par les observations du baromètre; *barometrical Measurements.* Sobald man die richtige Vorstellung gefasst hatte, dass es der Druck der Luft sey, durch welchen das Quecksilber im Barometer auf einer bestimmten Höhe erhalten werde, so war der Gedanke sehr natürlich, daſs das Quecksilber im Barometer sinken müsse, wenn man letzteres auf einen Berg bringt. Da nämlich am Fuſse des Berges die ganze, bis zur Grenze der Atmosphäre hinauf reichende Luftsäule mit ihrem gesammten Gewichte den Druck hervorbringt, welchen dort die Barometerhöhe abmiſst, so muſs dieser Druck, und dem gemäſs auch die Barometerhöhe, auf dem Gipfel des Berges offenbar um soviel geringer seyn, als es das Gewicht des nun unterhalb liegenden Theiles der Luftsäule fordert. Diese Ueberlegung veranlaſste Pascal den Versuch zu veranstalten, den auf seinen Rath Perrier am 19. Sept. 1648 zuerst ausführte, daſs ein Barometer auf den nahe bei Clermont

1 Nouvelles tables d'aberration et de nutation etc. und Corresp. astronomique. XIII. 210.

2 De Zach Corr. astron. III. p. 598.

3 Littrow theoret. Astron. I. p. 117.

Digitized by Google

liegenden Puy de Dome gebracht und dort beobachtet wurde [1]. Das Barometer fiel etwas mehr als 3 Zoll auf dieſem etwa 3000 Fuſs hohen Berge, und es lieſs ſich also ſchlieſsen, daſs dieſes ein Mittel zur Beſtimmung der Berghöhe ſey. Ob Pascal dieſen Gedanken aus Descartes Mittheilung aufgefaſst hatte, wie aus einem Briefe des Descartes geſchloſſen werden kann, iſt ungewiſs [2].

Mariotte, der das Geſetz, wie die Dichtigkeit der Luft vom Drucke abhängt, kannte [3], gab zuerſt Regeln an, wie man Berghöhen aus Beobachtung des Barometers berechnen könne; er irrte indeſs darin, daſs er glaubte, das Barometer falle ſchon um eine ganze Linie, wenn man nur um 60 Fuſs ſteigt, und die an ſich gar nicht unbrauchbare Methode ſeiner Rechnung führte daher zu ganz unrichtigen Reſultaten [4]. Er berechnete nämlich, um wie viel man allemal ſteigen müſse, um das Barometer um $\frac{1}{12}$ Linie fallen zu ſehen, eine Methode, auf welche ich ſogleich noch wieder zurückkommen werde.

Halley zeigte [5], wie man ſich bei dieſer Berechnung am vortheilhafteſten der Logarithmen bediene, und ſeine Formel wird immer die Grundlage dieſer Rechnungen bleiben, obgleich ſeine Beſtimmung der Dichtigkeit der Luft noch nicht genau war, und die Rückſicht auf die wegen der Wärme und anderer Umſtände nöthigen Correctionen damals noch nicht bekannt waren. Die Bemühungen anderer Phyſiker, um die Berechnung zu verbeſſern, werden ſich beſſer verſtehen laſſen, wenn ich vorher die Theorie der Höhenmeſſungen mittheile.

## Theorie der Höhenmeſſungen.

Wäre die Luft ein unelaſtiſches Fluidum, ſo würde offenbar, wenn man aufwärts ſteigt, der von ihr ausgeübte Druck

1 Traité de l'équilibre des liqueurs et de la peſanteur de la maſſe d'air. Paris 1663, und auch in dem Discours ſur la vie de Paſcal vor deſſen Oeuvres, à la Haye. 1779.

2 Ren. Descartes epiſtolae. Amſt. 1682. P. III. Ep. 67.

3 Nach v. Lindenau hat Rich. Townley das unter dem Namen des Mariotte'ſchen Geſetzes bekannte Geſetz früher als Mariotte gekannt. Tables barom. de de Lindenau. p. XX.

4 Mariotte discours ſur la nature de l'air, in Oeuvres de Mariotte. à la Haye 1740. Tome I. vgl. G. Ann. XXXVI. 169.

5 Philos. Tr. nr. 181. for the Y. 1686. p. 104.

Digitized by Google

stets um gleiche Gröſsen abnehmen, wenn man um gleiche Höhen steigt, und da die Höhe des Quecksilbers im Barometer diesen Druck abmiſst, so würde das Quecksilber immer um gleich viel sinken, wenn man seinen Standpunkt um gleich viel erhöhet. So aber verhält es sich nicht, sondern da wo das Barometer hoch steht, ist die Luft durch einen gröſsern Druck zusammen gepreſst, also dichter, und eine Luftsäule von bestimmter Höhe wiegt also hier mehr, als in den Gegenden, wo die Luft weniger Druck leidet, oder das Barometer niedriger steht.

Ueberall ist das ganze Gewicht der über uns befindlichen Luftsäule so groſs als das Gewicht einer Quecksilbersäule von eben der Grundfläche und einer Höhe der Höhe des Quecksilbers im Barometer gleich; das heiſst, wenn man sich einen verticalen Cylinder, z. B. von 1 Zoll Durchmesser denkt, der sich bis an die höchste Grenze der Atmosphäre erstreckt, und ein Barometer von 1 Zoll Durchmesser, in welchem man die Höhe des Quecksilbers über dem Niveau des Quecksilbers im Gefäſse oder im kürzern Schenkel beobachtet, so ist das Gewicht der in jenem Cylinder enthaltenen ganzen Luftsäule genau gleich [1] dem Gewichte der Quecksilbersäule von 1 Zoll Durchmesser und von derjenigen Höhe, welche durch die Barometerhöhe bestimmt wird. Steigt man in jener Luftsäule so hoch hinauf, daſs das Quecksilber im Barometer um 1 Linie sinkt, so ist das Gewicht der zwischen beiden Stationen enthaltenen Luftsäule genau so groſs, als das Gewicht von einer 1 Linie hohen Quecksilbersäule, und man könnte so das specifiſche Gewicht der Luft an einem bestimmen Orte, in Vergleichung gegen das specifiſche Gewicht des Quecksilbers bestimmen, so wie Mariotte und andre es gethan haben, oder wenigstens es zu bestimmen versuchten. Ein einziges Experiment der Art, wenn es mit vollkommener Genauigkeit ausgeführt wäre, würde, wenn man an Ungleichheit der Wärme nicht zu denken und andre Nebenumstände nicht in Betrachtung zu ziehen brauchte, zureichen, um eine Tafel zu berechnen, wie hoch das Barometer in jeder gegebenen Höhe stehen müſste, nämlich auf folgende Weise.

Wenn man von dem Orte, wo das Barometer 336 Linien = 28 Zoll hoch steht, um 75 Fuſs steigen muſs, damit das Quecksilber im Barometer 1 Linie sinke, so trifft man in 75

1 Wenn man auf die Abnahme der Schwere in der Höhe nicht sieht.

Digitized by Google

Fuſs Höhe eine Luft, die nur einen Druck, welcher durch 335 Linien Quecksilberhöhe abgemessen wird, leidet; ihre Dichtigkeit ist also in dem Verhältniss von 336 zu 335 geringer, als die der tiefern Schicht, und wenn eine Luftsäule von der unten statt findenden Dichtigkeit 75 Fuſs hoch seyn muſs, um ebensoviel zu wiegen, als eine Quecksilbersäule von 1 Linie hoch, so wird in dem höhern Standpuncte die dünnere Luftsäule $\frac{336}{335} \cdot 75$ Fuſs $= 75{,}224$ Fuſs hoch seyn müssen, um ebensoviel zu wiegen. Man muſs also von dem ersten Standpuncte um 150,224 Fuſs gestiegen seyn, damit man das Barometer 334 Linien hoch finde. Hier ist die Dichtigkeit der Luft nur $= \frac{334}{336}$ derjenigen, die unten statt fand, und man muſs auf's Neue $\frac{336}{334} \cdot 75 = 75{,}449$ Fuſs steigen, das ist bis zu 225,673 Fuſs, wenn das Barometer bis zu 333 Linien sinken soll. So geht nun die Rechnung fort, und man findet $\frac{336}{333} \cdot 75 = 75{,}676$; $\frac{336}{332} \cdot 75 = 75{,}904$; $\frac{336}{331} \cdot 75 = 76{,}133$; $\frac{336}{330} \cdot 75 = 76{,}364$; $\frac{336}{329} \cdot 75 = 76{,}599$; $\frac{336}{328} \cdot 75 = 76{,}829$; $\frac{336}{327} \cdot 75 = 77{,}064$; $\frac{336}{326} \cdot 75 = 77{,}301$; $\frac{336}{325} \cdot 75 = 77{,}540$; $\frac{336}{324} \cdot 75 = 77{,}778$; und man wird hiernach

| | | | |
|---|---|---|---|
| die Barometerhöhe = | $336'''$ | mit der Höhe = | 0, |
| | $335'''$ | . . . . . . = | 75, |
| | $334'''$ | . . . . . . = | 150,224 |
| | $333'''$ | . . . . . . = | 225,673 |
| | $332'''$ | . . . . . . = | 301,349 |
| | $331'''$ | . . . . . . = | 377,253 |
| | $330'''$ | . . . . . . = | 453,386 |
| | $329'''$ | . . . . . . = | 529,750 |
| | $328'''$ | . . . . . . = | 605,346 |
| | $327'''$ | . . . . . . = | 682,178 |
| | $326'''$ | . . . . . . = | 759,242 |
| | $325'''$ | . . . . . . = | 836,543 |
| | $324'''$ | . . . . . . = | 914,083 |

Digitized by Google

zusammen gehörig finden, und so die Rechnung ohne Schwierigkeit fortsetzen können. In einer Höhe, wo das Quecksilber nur noch 14 Zoll = 168 Linien hoch stände, müſste man 150 Fuſs steigen, um das Barometer 1 Linie fallen zu sehen.

Bei dieser Berechnung der Höhen, welchen ein bestimmter Barometerstand entspricht, wurde jede Schicht von 75 Fuſs hoch oder bis 77 Fuſs hoch als gleichförmig dicht angesehen; aber dieses ist offenbar nicht strenge richtig, da vielmehr die Dichtigkeit bei jeder viel geringern Aenderung der Höhe schon ungleich ist. Um die Untersuchung genauer zu führen, könnte man die als gleichdicht angesehenen Luftschichten niedriger annehmen; aber die vollkommene Berücksichtigung der nach dem Gesetze der Stetigkeit erfolgenden Aenderungen findet erst in der Differentialrechnung statt. Ich suche daher sogleich die Differentialgleichung für die Aenderung des Barometerstandes.

Es sei D die Dichtigkeit der Luft an demjenigen Puncte der Atmosphäre, wo das Quecksilber im Barometer die Höhe = P hat, dann ist in einer Höhe = h, wo die Barometerhöhe = p ist, die Dichtigkeit bei gleicher Wärme $= \frac{D\,p}{P}$, und eine Luftsäule von der Höhe = dh, übt einen Druck $= \frac{D.p.dh}{P}$ aus, indem man hier am besten die Dichtigkeit des Quecksilbers = 1 setzt, und den Druck bloſs durch die Höhe ausdrückt, das heiſst, den Druck als auf eine = 1 gesetzte Grundfläche wirkend ansieht. Dieser Druck beträgt aber soviel als das Gewicht einer Quecksilbersäule von der Höhe = dp, da das Quecksilber um dp sinkt, indem man in der Luft um dh steigt. So ist also

$$dp = -\frac{D.p}{P}.dh,$$

das heiſst, eine Quecksilbersäule von der Grundfläche = 1 und Dichtigkeit = 1 deren Höhe = dp ist, wiegt eben so viel, als eine Lufsäule von der Grundfläche = 1, Dichtigkeit $= \frac{D\,p}{P}$, und Höhe = dh. Diese Differentialgleichung $\frac{dp}{p} = \frac{-D}{P}dh$ giebt aber $\log.\frac{Const.}{p} = \frac{Dh}{P}$, oder wenn h = 0 ist, da, wo

$p = P$ ist, $\log. \frac{P}{p} = \frac{Dh}{P}$; $h = \frac{P}{D} . \log. \frac{P}{p}$. Dieses ist die Grundformel für die Höhenmessungen, die man zu bequemerem Gebrauche leicht auf brigg'sche Logarithmen zurcükführt, indem man $\frac{P}{D}$, mit 2,302585 multiplicirt. So lange man natürliche Logarithmen anwendet, ist $\frac{P}{D}$, oder die Gröſse, mit welcher der Unterschied der Logarithmen beider Barometerstände multiplicirt werden muſs (*der barometrische Coefficient*) die Höhe einer Luftsäule, welche von überall gleicher Dichtigkeit $= D$ eben so groſsen Druck, als die Quecksilbersäule im Barometer von der Höhe $= P$ ausüben würde. Wenn die Dichtigkeit der Luft einzig nach dem Mariotte'schen Gesetze bestimmt würde und die Dichtigkeit des Quecksilbers unveränderlich wäre, das heiſst, wenn man keine Ungleichheit der Temperatur berücksichtigen müſste, so bliebe dieser Coefficient ganz ungeändert, welchen Barometerstand $= P$ man auch mit der dazu gehörigen Dichtigkeit der Luft $= D$ annähme; denn da bei einem andern Barometerstande $= p$, die Dichtigkeit $= d = \frac{D . p}{P}$ ist, so hat man $\frac{p}{d} = \frac{P}{D}$.

Nach den von Biot und Arago angestellten Versuchen[1] kann man bei der Temperatur des aufthauenden Eises die Dichtigkeit der trocknen atmosphärischen Luft, bei einem Drucke von 0,76 Meter, $= \frac{1}{10463}$ der Dichtigkeit des Quecksilbers setzen, also $P = 0{,}76$ Meter $= 336{,}9049$ Linien und $\frac{P}{D} = 24479{,}417$ Fuſs $= 7951{,}88$ Meter. So hoch ist also die Luftsäule, welche bei der angegebenen, an irgend einem Orte statt findenden Dichtigkeit eben so viel wiegt, als die darüber stehende bis an die Grenze der Atmosphäre reichende Luftsäule.

Da die brigg'schen Logarithmen mit 2,302585093 multiplicirt werden müssen, um sie in natürliche zu verwandeln, so ist auch

1 Biot traité d'astron. phys. Tome III. Additions p. 23. G. XXVI. 178. Mém. de l'Inst. nat. pour 1806.

Digitized by Google

$$h = 56365{,}94 \ \text{Par. F.} \cdot \log.\ \text{brigg.}\ \frac{P}{p};$$

$$= 18309{,}88 \ \text{met.} \cdot \log.\ \text{brigg.}\ \frac{P}{p}.$$

So würde die Rechnung zu führen seyn, wenn nicht erstlich auf die Ungleichheit der Schwere in verschiedenen Puncten der Erd-Oberfläche und Höhen über derselben Rücksicht zu nehmen wäre, und nicht zweitens die Dichtigkeit der Luft und des Quecksilbers bei verschiedenen Temperaturen ungleich wäre.

Ich nehme die Betrachtung über die Ungleichheit der Schwere zuerst, weil diese den barometrischen Coefficienten auf eine bei allen Beobachtungen anwendbare Weise ändert. Biot's und Arago's Beobachtungen wurden in Paris angestellt, 185 Fuſs uber der Oberfläche des Meeres in einer Breite von 48° 50′ 14″, wo also erstlich die bei gröſserer Entfernung vom Mittelpuncte der Erde abnehmende Schwerkraft im Verhältniſs der Zahlen 1 zu $\frac{r^2}{(r + 185)^2}$ schwächer, als an der Oberfläche des Meeres, ist, wenn r den Halbmesser der Meeres-Oberfläche in dieser Gegend bedeutet; dieselbe Quecksilbersäule von 0,76 Meter Höhe würde also an der Oberfläche des Meeres etwas mehr Druck ausgeübt haben, oder umgekehrt, der in der angegebenen Höhe gemessene Druck würde an der Oberfläche des Meeres durch eine Quecksilbersäule

$$= 0{,}76 \left(1 - \frac{370}{19600000}\right) = 0{,}759986 \ \text{Meter}$$

hervorgebracht.

Aber die Schwere ist auch zweitens in verschiedenen geographischen Breiten ungleich, und zwar so, daſs sie unter der Breite $= \varphi$

$$= 1 + 0{,}00519 \ \text{Sin.}^2\varphi, \ \text{ist,}\ [1]$$

wenn sie unter dem Aequator = 1 ist, oder daſs sie

$$= 1 - 0{,}002595 \ \text{Cos.}^2\varphi.$$

ist unter der Breite $= \varphi$, wenn sie unter 45 Grad Breite, = 1 ist. Hiernach ist die Wirkung der Schwerkraft in Paris

$$\text{um } 0{,}002595 \cdot 0{,}13355 = 0{,}0003465$$

gröſser, als unter 45 Gr. Breite, und jene 0,759986 Meter hohe

1 Vgl. *Erde.* Th. III. S. 893. *Fall.* Th. IV. S. 9.

Quecksilbersäule hätte unter 45 Gr. Breite an der Oberfläche des Meeres = 0,760263 hoch seyn müssen, um eben den Druck auszuüben. Eben jener für Null Grad Wärme gültige barometrische Coefficient wird also unter 45 Gr. Breite an der Oberfläche des Meeres = 10463 . 0,760263 . 2,302585 = 18316,22. Meter = 56385,45 Paris. Fuſs.

So groſs würde für 45° Breite am Meere der barometrische Coefficient bei Null Grad Wärme seyn, wenn die Luft der freien Atmosphäre ganz von Dünsten frei wäre; wegen der in ihr enthaltenen Dünste berechnen Laplace, Biot und Puissant ihn zu 18334,11 Meter, wobei mir aber einige Willkürlichkeit statt zu finden scheint [1].

Bei jeder anderswo angestellten Beobachtung muſs man in Beziehung auf die beiden eben erwähnten Umstände eine Correction anbringen. Es ist nämlich das Gewicht der kleinen Luftsäule von der Höhe = dh und der Dichtigkeit = $\frac{Dp}{P}$, durch das Product

$$\frac{D.p.dh}{P}(1 - 0{,}002595 . \text{Cos. } 2\varphi)\frac{r^2}{(r+h)^2}$$

auszudrücken, wenn die Beobachtung in der geographischen Breite = $\varphi$ und der Höhe = h über dem Meere angestellt ist, und man hat daher, da dieses Product

$$= \frac{D.p.dh}{P}\left(1 - \frac{2h}{r}\right)(1 - 0{,}0026 . \text{Cos. } 2\varphi)$$

gesetzt werden kann,

$$\frac{dp}{p} = \frac{-D.dh}{P}\left(1 - \frac{2h}{r}\right)(1 - 0{,}0026 . \text{Cos. } 2\varphi)$$

$$\log. \frac{\text{Const.}}{p} = \frac{D}{P}h\left(1 - \frac{h}{r}\right)(1 - 0{,}0026 . \text{Cos } 2\varphi).$$

Hat man die Barometerhöhen P' und p' in den Höhen H und h über dem Meere und in nahe gleicher geographischer Breite = $\varphi$ beobachtet, so ist der diesen Barometerhöhen zugehörige Druck

$$P = P'. \left(1 - \frac{2H}{r}\right)(1 - 0{,}0026 . \text{Cos. } 2\varphi),$$

$$\text{und } p = p'\left(1 - \frac{2h}{r}\right)(1 - 0{,}0026 . \text{Cos. } 2\varphi),$$

1 Siehe unten.

und man hätte, wenn (p) den Werth =

$$P'\left(1-\frac{2H}{r}\right)(1-0{,}0026.\ \mathrm{Cos.}\ 2\varphi)\ \text{bedeutet,}$$

$$\log.\ \mathrm{Const.} = \log.(p) + \frac{D}{p}.\ H\left(1-\frac{H}{r}\right)(1-0{,}0026.\ \mathrm{Cos.}\ 2\varphi)$$

$$\text{folglich}\ \log.\ \frac{P'\left(1-\frac{2H}{r}\right)}{p'\left(1-\frac{2h}{r}\right)} =$$

$$\frac{D}{p}(h-H)\left(1+\frac{h+H}{r}\right)(1-0{,}0026.\ \mathrm{Cos.}\ 2\varphi).$$

Um diese verwickelte Formel in allen Fällen, wo die Normaltemperatur statt findet, mit zureichender Genauigkeit anzuwenden, ist es am besten, *zuerst die oberflächlich bestimmte Höhe* = h′ — H′, *aus der Formel* $h' - H' = 56385 .\ \log.\ \mathrm{brigg.}\ \frac{P'}{p'}$ *in Pariser Fuſsen zu berechnen, und nun unserer letzten Formel*, worin

$$\log.\ \frac{P'\left(1-\frac{2H}{r}\right)}{p'\left(1-\frac{2h}{r}\right)} = \log.\ \frac{P'}{p'} + \log.\ \left(1+\frac{2(h-H)}{r}\right)$$

$$= \log.\ \frac{P'}{p'} + \frac{2(h-H)}{r}$$ für natürliche Logarithmen, oder

$$= \log.\ \mathrm{brigg.}\ \frac{P'}{p'} + 0{,}868.\ \left(\frac{h-H}{r}\right)$$ ist, *die Form*

$$h - H = 56385\left(1+\frac{H'+h'}{r}\right)(1-0{,}0026.\ \mathrm{Cos.}\ 2\varphi)\left\{\log.\ \mathrm{br.}\ \frac{P'}{p'} + \frac{0{,}868.(h'-H')}{r}\right\}$$

*zu geben.*

Um diese, fast immer unbedeutenden Correctionen nicht immer alle zu wiederholen, will ich von jetzt an $h - H = 56385 .\ K.\ \log.\ \frac{P}{p}$ setzen, und man könnte, nach Puissant's Bemerkung[1] allenfalls die Correction wegen ungleicher Einwirkung der

1 Traité de Géodésie Livre 6. Chap. 5.

Digitized by Google

Schwere ganz weglassen, wenn man $K = 1{,}00321$ setzte, dann aber auf die Feuchtigkeit der Luft noch besonders Rücksicht nähme.

Die Wärme hat auf diese Bestimmungen einen zweifachen Einfluſs. Zuerst war die Bestimmung, daſs die Dichtigkeit des Quecksilbers $= 1$ sey, offenbar nur auf eine gewisse Temperatur, wir nehmen hier an, die des aufthauenden Eises, anwendbar, und da das Quecksilber nach Dülong und Petit, sich bei jedem Grade des Réaumürschen Thermometers um $\frac{1}{4440}$ ausdehnt, so ist die Dichtigkeit des Quecksilbers $= 1 - \frac{t}{4440}$ bei t Graden der Wärme, und statt der uncorrigirten Höhe P und p des Quecksilbers muſs man $P\left(1 - \frac{T}{4440}\right)$ und $p\left(1 - \frac{t}{4440}\right)$ oder, was genau genug ist, statt des Quotienten $\frac{P}{p}$, $\frac{P}{p}\left(1 - \frac{T-t}{4440}\right)$ setzen. Dadurch erhält man die Zurückführung der Barometerhöhe auf das, was sie seyn würden, wenn das Quecksilber die Temperatur des schmelzenden Eises hätte, und es erhellet, daſs man nur die eine Barometerhöhe um so viel, als dem Unterschiede der Temperaturen gemäſs ist, zu corrigiren braucht.

In Beziehung auf die Wärme der Luft ist eine zweite schwieriger zu bestimmende Correction nöthig. Obgleich der Factor $\frac{P}{D}$ oder $\frac{p}{d}$ stets einerlei Werth behalten würde, wenn die Temperatur der Luft unveränderlich bliebe, so ist doch bekanntlich bei gleichem Drucke die Dichtigkeit der Luft geringer, wenn die Wärme gröſser ist, und da diese Aenderung nach Gay-Lüssac für jeden Réaumürschen Thermometer-Grad $\frac{1}{213{,}3}$, beträgt, (oder $= 0{,}00375$ für jeden Centesimalgrad) so ist die Dichtigkeit bei einer von 0° verschiedenen Wärme $=$ $D\left(1 - \frac{t}{213{,}3}\right)$.

Hiernach wäre die Correction leicht, wenn die ganze Luftsäule zwischen beiden Beobachtungspuncten eine überall gleiche Wärme hätte; da aber dieses nicht der Fall ist, so sollte eigent-



Digitized by Google

lich die Wärme t als eine Function der Höhe in die Rechnung eingeführt werden, und die Gleichung $dp = -\frac{Dp}{P}dh \left(1 - \frac{t}{213}\right)$ müſste diesem gemäſs integrirt, t aber zuvor als Function von h gegeben werden.

Aber die Ungleichheit der Wärme in verschiedenen Höhen ist nicht immer auf gleiche Weise bestimmt, und es ist schwer, ihr Gesetz strenge anzugeben. Man begnügt sich daher gewöhnlich, die Temperatur $= T'$ in der untern, und $= t'$ in der obern Station zu beobachten, und $\frac{T' + t'}{2}$, als die Wärme der ganzen Luftsäule anzusehen, wodurch dann

$$h - H = \frac{P}{D}\left(1 + \frac{T' + t'}{426{,}6}\right) \log. \frac{P''}{p''}$$

$$\text{oder } h - H = 56385 \,.\, K \,.\left(1 + \frac{T' + t'}{426{,}6}\right) \log. \frac{P''}{p''}$$

hervorgeht, wenn man in $\frac{P''}{p''}$ schon den nach der Wärme des Quecksilbers corrigirten Werth gesetzt hat.

## Kurze Darstellung der Regeln zur Höhenmessung an einem Beispiele.

1. Bei einer Beobachtung, die zur Höhenmessung dienen soll, muſs nothwendig mit der Barometerhöhe, gleichzeitig an beiden Orten beobachtet, auch die Temperatur des Quecksilbers im Barometer und die Wärme der Luft gegeben seyn. Bei Ramond's Bestimmung der Höhe des Pic de Bigore über Tarbes wurde auf dem Berge von Ramond, in Tarbes von Dangos folgendes beobachtet.

| | | |
|---|---|---|
| Barometerhöhe auf dem Berge | | $= p' = 19{,}845$ Zoll, |
| in Tarbes | | $= P' = 27{,}17$ Zoll, |
| Temperatur des Quecksilbers | dort | $= t = 7{,}^\circ 6.$ R, |
| | hier | $= T = 14{,}9.$ |
| Temperatur der Luft | dort | $= t'' = 3{,}2$ |
| | hier | $= T' = 15{,}3.$ |

2. Es wird nun zuerst die Quecksilberhöhe so corrigirt, daſs man so viele $\frac{1}{4440}$ als der Unterschied $T - t$ angiebt, von der Barometerhöhe $P'$ nimmt, und von dieser subtrahirt.

Digitized by Google

Es ist aber hier T = 14,9.

$$\frac{\quad t = 7{,}6}{T - t = 7{,}3.}$$

$$\text{also } P'.\frac{(T-t)}{4440} = 27{,}17.\frac{7.3}{4440} = 0{,}0447.$$

$$P'\left(1 - \frac{T-t}{4440}\right) = 27{,}17 - 0{,}0447,$$

$$= 27{,}1253 \text{ Zoll} = P''.$$

Diese Barometerhöhe ist als die in der untern Station beobachtete anzusehen, und die oben beobachtete wird uncorrigirt, $p'' = p'$, beibehalten.

3. Man berechnet dann zuerst die Höhe nach der einfachen logarithmischen Formel $h' - H' = 56385{,}5 . \log. \text{br.} \frac{P''}{p''}$.

$$\log. \text{brigg. } 27'',1253 = 1{,}433374$$
$$\log. \text{brigg. } 19{,}845 = 1{,}297651$$
$$\log. \frac{P''}{p''} = 0{,}135723$$

und $56385{,}5 . 0{,}135723 = 7652{,}81$.

Dieses ist die uncorrigirte Höhe, die desto weniger von der wahren Höhe abweicht, je weniger die Temperatur der Luft von Null verschieden ist.

4. Aber wegen der Wärme fordert diese Bestimmung meistens noch eine sehr erhebliche Correction. Man sucht daher die Mitteltemperatur

$$\frac{T' + t'}{2} = \frac{15{,}3 + 3{,}2}{2} = 9{,}25.$$

dividirt die eben gefundene Höhe mit 213,3 und multiplicirt den Quotienten mit der eben gefundenen Zahl von Graden; was herauskommt, wird jener Höhe zugelegt, wenn die Mitteltemperatur über Null ist. Man erhält aber hier

$$\frac{7652{,}81 . 9{,}25}{213{,}3} = 331{,}88.$$

und $7652{,}81 + 331{,}88 = 7984{,}7$ Paris. Fuſs.

5. In vielen Fällen, besonders dann, wenn die Höhen nicht sehr erheblich sind, kann man die Correctionen wegen Ungleichheit der Schwerkraft weglassen; will man sie aber anwenden, so muſs man in den oben gefundenen Formeln $h' - H' = 7985$, setzen, und sollte eigentlich nun auch wissen, wie hoch der niedrigere Ort über dem Meere läge; da es indeſs gar

Digitized by Google

nicht nöthig ist, diese letztere Höhe genau zu kennen, so kann man nur obenhin sagen, einer Barometerhöhe von 27″,1 entspricht ungefähr eine Höhe von 800 Fuſsen, also ist

$$H' + h' \text{ ungefähr} = 9600 \text{ Fuſs.}$$

Da r = 19600000, so ist

$$\frac{H' + h'}{r} = 0{,}000489.$$

$$\text{und } \frac{0{,}868 . (h' - H')}{r} = 0{,}000354.$$

Nach dem Vorigen hätten wir nun nicht mit log. br. $\frac{P''}{p''}$, sondern mit

$$\text{log. br. } \frac{P''}{p''} + \frac{0{,}868 . (h' - H')}{r}$$

multipliciren sollen, wir müssen also unsern gefundenen Werth, da log. br. $\frac{P''}{p''} = 0{,}1357$ war, zuerst noch um

$$\frac{0{,}000354}{0{,}1357} = 0{,}00261$$

erhöhen, also statt 7984,7, jetzt 7984,7 . 1,00261 = 8005,5 setzen; dann aber mit

$$1 + \frac{H' + h'}{r} = 1{,}00049 \text{ multipliciren,}$$

woraus 8005,5 . 1,00049 = 8009,4 folgen würde.

6. Endlich ist dann noch zu berücksichtigen, daſs für die in unserm Beispiele vorkommenden Orte $\varphi = 43°$ ist, $1 - 0{,}0026 . \text{Cos. } 2\,\varphi = 0{,}99982$, so daſs noch 8009,4 . 0,00018 = 1,4 von 8009,4 subtrahirt werden muſs, und 8008 Fuſs würde nach allen bisherigen Regeln als die wahre Höhe des Pic de Bigore über Tarbes gefunden werden. Die in Nr. 5 und 6 angegebenen Correctionen lassen sich in eine einzige verwandeln. Da nämlich u (1 + a) (1 + b) (1 — c) sehr nahe = u (1 + a + b — c) ist, für kleine Werthe von a, b, c, so ist 7984,7 . (1,00261 . 1,00049 . 0,99982) = 7984,7 . 1,00292 = 8008,0.

7. Die trigonometrische Bestimmung gab 8044 Fuſs, also immer noch erheblich von unserm Resultate abweichend. Allerdings sollte auch noch eine Correction wegen der Feuchtigkeit der Luft eingeführt werden; aber diese habe ich hier absicht-

Digitized by Google

lich nicht erwähnt, weil die Bestimmungen für sie noch nicht den Grad von Sicherheit haben, den die übrigen Correctionen besitzen, und weil noch andre Unsicherheiten, namentlich über das ungleiche Abnehmen der Wärme in der Höhe statt finden, wodurch in unsre Berechnung kleine Fehler kommen können. Von diesen Unsicherheiten werde ich in der Folge noch mehr sagen.

## Andere Bemühungen, die bei den Höhenmessungen vorkommenden constanten Zahlen zu bestimmen.

Bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse, wo die Gründe der Berechnung schon mit groſser Vollkommenheit bekannt sind, ist es wohl nicht mehr angemessen, die richtigen Werthe jener constanten Zahlen aus der Vergleichung der barometrischen Höhenmessung mit den trigonometrisch erhaltenen Bestimmungen der wahren Höhe herzuleiten. Vielmehr dürfen wir wohl mit einem hohen Grade von Sicherheit sagen: da wir das specifische Gewicht der Luft bei bestimmtem Drucke und bei bestimmter Wärme genau kennen, da die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme genau bekannt ist, da wir die ungleiche Einwirkung der Schwere so genau kennen, so ist es gewiſs, daſs bei gleichmäſsiger Wärme der ganzen Luftsäule, bei völlig trockener Luft, bei ganz stiller Luft, und bei absoluter Vollkommenheit der Beobachtung, die Höhe nach unsern Regeln sehr genau müſste gefunden werden.

Ehemals, als man die Dichtigkeit der Luft bei verschiedenen Temperaturen noch nicht so genau kannte, schien es nothwendig, die constanten Gröſsen aus den barometrischen Höhenbestimmungen selbst kennen zu lernen, und daraus sind, vorzüglich da man zuweilen fehlerhafte und nicht oft wiederholte Beobachtungen zum Grunde legte, die ungleichen Bestimmungen entstanden, deren Kenntniſs mir jetzt nur einen sehr geringen Werth zu haben scheint, die ich indeſs, der Vollständigkeit wegen, und um zu zeigen, wie mühsam man erst nach und nach weiter gekommen ist, hier erwähnen will.

Jener barometrische Höhen-Coefficient, den wir für trokkene Luft von 0 Grad Wärme, am Meere, in 45 Grad Breite

= 56385,5 Pariser Fuſs geſetzt haben, wurde aus den ältern Beobachtungen um ſo weniger genau beſtimmt, da man auf Ungleichheit der Wärme keine Rückſicht nahm, wohl nicht einmal ganz luftfreie Barometer beſaſs, und in der Kunſt, ſehr genaue Inſtrumente zu machen, noch ſo wenig fortgeſchritten war.

Mariotte's unrichtige Beſtimmung, nach welcher das Barometer ſchon an einem 63 Fuſs höhern Puncte um eine Linie niedriger ſtehen ſollte, gab die Dichtigkeit der Luft $= \frac{1}{9072}$ in Vergleichung gegen das Queckſilber an, und hätte $9072 . 2\frac{1}{3}$ als den Coefficienten für natürliche Logarithmen, $9072 . 2\frac{1}{3} . 2,30258 = 48740$ Fuſs für briggiſche Logarithmen angegeben. Er hatte beobachtet, daſs auf 84 Fuſs das Queckſilber $\frac{4}{3}$ Linie fiel [1]. In ſeiner Schichtenrechnung nimmt er nur 60 Fuſs, als die einer Linie entſprechende Höhe an.

De la Hire [2] und Horrebow [3] nehmen richtiger 75 Fuſs als die Höhe an, bei welcher das Barometer von 336 Linien auf 335 Linien fällt, und ſo würde unſer Coefficient

$$= 10800 . 2\tfrac{1}{3} . 2,30258 = 58025 \text{ Fuſs.}$$

Eben die Zahl gilt auch beinahe für Halley's Beſtimmungen [4], jedoch da er 30 Engl. Zoll = 337,5 Paris. Linie für dieſe Normalhöhe rechnet, ſo ſind es

$$10800 . 2\tfrac{1}{3} . 2,30258 = 62170 \text{ Engl. F.}$$

$$10800 . 2,34375 . 2,30258 = 58284 \text{ Paris. F.}$$

Bouguer [5] hatte wohl hauptſächlich nur den Zweck eine leichte Rechnungsmethode anzugeben, als er jenen Coëfficienten auf $10000 \left(1 - \frac{1}{30}\right)$ Toiſen = 58000 Fuſs ſetzte. Dieſe Regel iſt richtig für eine Wärme von etwa 6 Réaum. Graden, und ſo lange, als man auf die Wärme noch nicht genau Rückſicht nahm, konnte ſie in vielen Fällen richtige Reſultate geben.

1 De la nature de l'air; in den Oeuvres de Mariotte. Tom. I. pag. 174.

2 Mém. de l'acad. de Paris 1709. p. 176.

3 Elem. phil. nat. Hafn. 1748.

4 A Discourse of the rule of the decrease of the height of the mercury in the barometer, in den Miscell. curios. London 1750. Phil. Tr. 1686. p. 104.

5 Voyage au Perou, die dem Werke la figure de la terre beigefügt iſt.

Digitized by Google

Noch bequemer aber zur Rechnung war Tob. Mayers Regel[1], daſs man log. $\frac{p'}{p''}$ gradezu mit 10000 multipliciren solle, um die Höhe in Toisen zu haben. Diese Regel gilt für $13\frac{2}{3}$ Gr. R. fordert aber eine Correction für andere Temperaturen.

Die Bestimmungen von Scheuchzer, die Formeln von Bernoulli, Cassini und Lambert, ebenso die achtungswerthen Bemühungen von Celsius und Schober kann ich wohl ganz übergehen, da sie theils völlig verfehlt sind, theils hinter neuern Bestimmungen doch weit zurückstehen[2].

Viel wichtiger sind de Lüc's Bemühung für diesen Gegenstand, und obgleich wir jetzt vielleicht Veranlassung finden, die auf indirectem Wege gesuchten Bestimmungen als allzu mühsam gesucht anzusehen, so müssen wir doch nicht bloſs das gefundene Resultat mit Dank, als sehr nahe richtig annehmen, sondern können auch der Methode keineswegs unsern Beifall versagen. Man hatte bis zu seiner Zeit die Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme, obgleich Amontons schon auf die Berücksichtigung derselben aufmerksam gemacht hatte, als ganz unbedeutend bei Seite gesetzt[3], und wie de Lüc[4] bemerkt, nicht mit Unrecht, weil Barometer, in denen das Quecksilber nicht ausgekocht ist, bei der Wärme eine ganz unregelmäſsige, von der Ausdehnung der mehr oder minder, im obern Raume enthaltenen Luft, abhängige Veränderung zeigen. De Lüc gelangte zu der Ueberzeugung, daſs in luftleeren Barometern allerdings sich der Einfluſs, welchen die Ausdehnung durch die Wärme hervorbringt, genau bestimmen lasse und nothwendig beachtet werden müsse; er bestimmte die Ausdehnung des Quecksilbers vom Eispuncte bis zum Siedepuncte auf 6 Linien für 324 Linien, das ist, auf $\frac{1}{54}$ für 80 Grade, also auf $\frac{1}{4320}$ für 1 Grad; dieses ist freilich nicht genau, aber doch der Wahrheit sehr nahe kommend, und es lieſs sich nun eine regelmäſsige Correction einführen.

---

1 Kästner's Anm. über die Markscheidekunst, nebst einer Abh. über das Höhenmessen mit dem Barometer. S. 320.

2 Kästner giebt an angeführtem Orte fast von allem was damals bekannt war, umständliche Nachricht und Prüfung.

3 De Lüc Untersuchung über die Atmosphäre, Leipz. 1776. I. Th. S. 102.

4 a. a. O. S. 88.

Auch auf die in Röhren von gröſserm Durchmesser anders als in engen Röhren einwirkende Capillarität nahm de Lüc Rücksicht, begnügte sich aber, Heberröhren an überall gleichem Durchmesser zu empfehlen, und auf die Gröſse der Fehler in den Resultaten, die selbst aus geringen Beobachtungsfehlern hervorgehen, aufmerksam zu machen. Eben diesen Fleiſs, mit welchem er die Verfertigung der Barometer verbesserte, wandte er auch auf die Thermometer, und erst nach diesen langen und vielfältigen Vorarbeiten ging er an die Vergleichungen, welche hier eigentlich den Hauptgegenstand unsrer Betrachtung ausmachen.

Sollte der barometrische Coefficient genau bestimmt werden, so muſste zugleich auch auf die Wärme der Luft Rücksicht genommen werden; diese Betrachtung bewog de Lüc, die aus verschiedenen Beobachtungen hergeleiteten Höhenbestimmungen nach der Wärme, die als Mittelwärme der ganzen Luftsäule gefunden war, zu ordnen, und dann zu untersuchen, theils welcher Coefficient einer bestimmten Temperatur angehöre, theils welche Aenderungen eine verschiedene Temperatur hervorbringe. Er glaubte sich zu überzeugen, daſs der Coefficient = 60000 Fuſs = 10000 Toisen zu $16\frac{3}{4}$ Graden des achtzigtheiligen Quecksilberthermometers gehöre, und dieser Coefficient mit jedem Grade sich um $\frac{1}{215}$ ändere[1]. Beides ist zwar nicht genau richtig, aber wenn man den nach de Lüc bestimmten Coefficienten sucht, so ist die Uebereinstimmung mit der Wahrheit wenigstens schon viel gröſser, als die frühern Regeln sie geben, und sie würde noch besser seyn, wenn de Lüc nicht das Thermometer der Sonne ausgesetzt beobachtet, also die Wärme immer etwas zu groſs gefunden hätte. Obgleich de Lüc's Zusammenstellung der Beobachtungen sehr mühsam und weitläuftig ist, so ist sie doch ein schönes Beispiel, wie man da, wo directe Beobachtungen uns noch nicht gegeben sind, auf indirectem Wege die einwirkenden Umstände annähernd kennen lernen kann. Er erkannte auch die noch übrig bleibenden Schwierigkeiten sehr gut, und einige derselben sind noch immer eben

1 Um ganz genau zu vergleichen, müſste man noch den Luftdruck, bei welchem der Siedepunct des Thermometers bestimmt war, in Betrachtung ziehen, was aber hier unzweckmäſsige Weitläuftigkeit herbeiführen würde.

Digitized by Google

so wenig als damals überwunden[1]. Seine Thermometerscalen, durch welche die Rechnung erleichtert werden sollte, haben aber für uns so wenig Werth, daſs ich sie nicht zu erklären nöthig finde.

Maskelyne wandte de Lüc's Formeln auf englisches Maſs und Fahrenheitische Grade an[2]. Eben das that Horsley, welcher Tafeln zu bequemerer Berechnung beifügt[3]. Weit wichtiger sind Shuckburgh's Bemühungen[4]. Er stellte eine groſse Reihe barometrischer Höhenmessungen an, aus denen er eine Verbesserung der Formel de Lüc's glaubte ableiten zu können, und obgleich seine Correction für die Wärme, nämlich $= \frac{1}{82}$ bei jedem Thermometergrade, gewiſs zu groſs ist, so verdienen doch seine Bemühungen allen Dank.

Einen ähnlichen Zweck haben Roy's Untersuchungen[5], aber auch seine Zahlenbestimmungen haben sich nicht bewährt, und J. T. Mayer rieth (noch 1786) bei de Lüc's Correction um $\frac{1}{215}$ zu bleiben[6].

Die Bemühungen Rosenthal's, Hennert's und Wünsch's übergehe ich ganz[7]. Dagegen verdient Trembley, der de Lüc's Formeln an wirklichen Messungen prüfte, eher erwähnt zu werden[8]. Aus diesen Vergleichungen schlieſst er, daſs der Werth des Coefficienten $= 60000$ zu der Normaltemperatur $= 11\frac{1}{2}°$ R. gehöre, und daſs man für jeden von dieser Temperatur abweichenden Wärmegrad um $\frac{1}{192}$ corrigiren müsse; das würde für 0° den Coefficienten $= 56406$ allerdings näher richtig geben, als de Lüc's Regel ihn giebt. Er glaubt, de Lüc sey bei seinen

---

1 II. Th. S. 258.

2 Ph. Tr. 1774. Nr. 64. p. 160.

3 Ph. Tr. 1774. p. 220.

4 Ph. Tr. 1777. p. 513.

5 Ph. Tr. 1777. Nr. 29. 1778. Nr. 32.

6 Abhandlung über das Ausmessen der Wärme, in Rücksicht auf das Höhenmessen. Leipzig 1786.

7 Rosenthal's Beiträge zur Verfertigung und Gebrauch meteorologischer Instrumente Gotha 1782. Hennert comment. de mensurat. altit. ope barometri. Ultraj. 1786. Wünsch neue Theorie von der Atmosphäre und dem Höhenmessen mit dem Barometer Leipz. 1782.

8 In de Saussure voyages dans les Alpes Tome II. p. 616. Genève 1786.

Digitized by Google

Bestimmungen durch nicht genau richtige geometrische Bestimmungen der Höhe irre geleitet worden.

Kramp's Bestimmungen[1], die sich nur auf fremde Beobachtungen gründen, und ehemals nur weil sie den Gegenstand recht befriedigend darstellten, wichtig schienen, haben für uns ebenfalls keinen erheblichen Werth. Er untersucht sorgfältig den Einfluſs, den die Voraussetzung einer regelmäſsig in der Höhe abnehmenden specifischen Elasticität der Luft auf die Höhenbestimmung haben würde; aber da das Gesetz, nach welchem die Wärme in der Höhe abnimmt, zu verschiedenen Zeiten so sehr ungleich ist, so wird der Theorie der Höhenbestimmung damit wenig geholfen. Er sowohl als Gerstner glaubte, durch unmittelbare Bestimmung der Dichtigkeit der Luft vermittelst eines Manometers mehr Sicherheit in die Bestimmungen zu bringen[2].

Laplace, der in seinen Untersuchungen auf alle Umstände Rücksicht nahm, und die Berichtigung wegen ungleicher Einwirkung der Schwere so, wie es oben angegeben ist, in die Rechnung brachte[3], wählte denjenigen Werth des barometrischen Coefficienten, den Ramond aus zahlreichen Beobachtungen in den Pyrenäen abgeleitet hatte[4], und seine Formeln sind nachher, als die am vollkommensten berichtigten, in andre Werke aufgenommen.

Ramond's Untersuchungen[5] waren durch Laplace, der in der ersten Ausgabe seiner Exposition du système du monde zu Beobachtungen aufgefordert hatte, veranlaſst, und verdienen etwas umständlicher dargestellt zu werden. Er wählte zu seinen Beobachtungen den Pic du Midi de Bigorre, der frei von Schnee, entfernt genug von andern hohen Bergen, sich über die Ebene,

---

1 Die er in seiner Geschichte der Aerostatik. Straſsburg 1784 und Analyse des refractions. chap. I. angiebt.

2 Beob. auf Reisen in das Riesengebirge von Jirasek, Haenke Gruber und Gerstner. Dresden 1791.

3 Nach von Lindenau hatte Playfair schon hierauf Rücksicht genommen, und auch für verschiedene Hypothesen der Wärme-Abnahme in der Höhe die Rechnung geführt. Transact of the Soc. of Edinburgh. Vol. I.

4 Mécan. céleste Tome IV. Livre 10. Puissant traité de Géodésie. Livre VI. Chap. 5.

5 Mémoires sur la formule barométrique de la Mécan. cél. par Ramond. (Clermont-Ferrand. 1811.)

Digitized by Google

in welcher Tarbes liegt, erhebt, und ein sehr sorgfältiges Nivellement hatte seine Höhe = 7964 Fuſs über dem Puncte in Tarbes gegeben, wo die gleichzeitigen Beobachtungen vorzüglich angestellt wurden. Sowohl diese, als andere an verschiedenen Orten angestellte Beobachtungen vergleicht Ramond mit den verschiedenen Formeln, wobei er jedoch die von de Lüc, welche die Höhen etwa um $\frac{1}{42}$ zu klein angebe, minder berücksichtigt, den Coefficienten, den Laplace bei seinen ersten Untersuchungen auf 17972, 1 Meter = 55325 Fuſs, beinahe de Lücs Bestimmungen gemäſs, gesetzt hatte, nahm er sogleich = 18393 Meter = 56622 Fuſs an, und fand, daſs dieser Werth, wenn man ihn, nach Laplace's Vorschrift um $\frac{1}{200}$ für jeden Réaum. Grad corrigirt, allen Temperaturen besser entspricht, als es mit Shuckburgh's und Trembley's Formeln der Fall ist; die Trembley'sche Formel gebe nämlich bei hohen Temperaturen die Berghöhe zu groſs, bei niedrigen zu klein, und seine auf $\frac{1}{192}$ gesetzte Correction für jeden Grad sey also zu groſs; dagegen erhalte man entgegengesetzte Fehler, wenn man bei $\frac{1}{215}$ nach de Lüc bleibe. Ist die Temperatur nicht viel von 8° R. entfernt, so stimmen alle Formeln, die von Shuckburgh, Roy, Kirwak[1], und Trembley, mit der von Laplace nahe überein, so daſs selbst für die Höhe von 6978 Meter, bis zu welcher Gay-Lüssac sich mit dem Luftballon erhob, nach der kleinsten Bestimmung von Roy nur 0,9 Meter zu wenig, nach der gröſsten 8,7 Meter zu viel gefunden wird; bei einer Wärme von 16° R. dagegen gab Trembley's Formel $\frac{1}{283}$ zu viel, Roy's Formel $\frac{1}{162}$ zu viel. Jener aus Beobachtungen in den Pyrenäen hergeleitete Coefficient muſste nun auf die Oberfläche des Meeres und auf die geogr. Breite von 45 Graden reducirt werden, und giebt da 18336 Meter = 56446 Fuſs.

Ramond führt die Regeln der Berechnung darauf zurück, daſs man erstlich die Quecksilberhöhe um $\frac{1}{4330}$ für jeden Grad der 80theil. Scale ($\frac{1}{5412}$ für jeden Centes. Grad) corrigiren müsse, dann zweitens die Differenz der Logarithmen mit 18336 Meter multiplicire, und drittens für jeden Grad der Lufttemperatur $\frac{1}{200}$ als Correction anbringe, ($\frac{1}{250}$ für jeden Centes. Grad). Die Correction wegen ungleicher Einwirkung der Schwere in verschiedenen Höhen könne man sich ersparen, wenn man für

---

1 Der sich fast an Trembley's Bestimmungen gehalten hat.

Digitized by Google

Höhen von etwa 3000 Meter den Coefficienten 18393 beibehalte; die Correction wegen der geographischen Breite dürfe aber dennoch nicht vernachlässigt werden. Er zeigt an einer Reihe von Beispielen, wie gut der Coefficient 18393 die Correction wegen der Schwere mit in sich einschlieſse, indem selbst die Höhe, zu welcher Gay-Lüssac sich erhob, nur um $\frac{1}{1748}$ zu klein, in Vergleichung gegen die genaue Regel, angegeben wird.

Die Frage, ob Ramond's Coefficient = 56446 Fuſs, oder der aus Experimenten geschlossene = 56385 F. der richtigere ist, will ich in der Folge noch näher zu beantworten suchen.

So sehr diese Bemühungen Ramond's Beifall fanden, so machte doch von Lindenau[1] die gegründete Bemerkung, daſs Ramond's für die Beobachtungen in den Pyrenäen so sehr gut passender Coefficient doch vielleicht anderen Gegenden weniger angemessen seyn könne. Die astronomische Strahlenbrechung sey am Aequator geringer, als in hoher Breite, und dieselbe Ursache, die dieses bewirke, müsse auch auf jene Coefficienten Einfluſs haben; daher sey es besser bei der Bestimmung des Coefficienten Beobachtungen aus ganz verschiedenen geographischen Breiten zum Grunde zu legen. Die Vergleichung vieler Beobachtungen gab den Coefficienten = 56652 Fuſs. Auſserdem veränderte von Lindenau die Correction wegen der ungleichen Wärme in verschiedenen Luftschichten, da die Voraussetzung, man dürfe die Mittelwärme zwischen beiden Stationen so ansehen, als ob sie die Wärme der ganzen Luftmasse bestimmte, nicht der Wahrheit zu entsprechen scheint. Aber so gegründet die Bemerkung ist, daſs jenes einfache Gesetz der Natur wohl nicht völlig entspricht, so muſs man doch gestehen, daſs der stete Wechsel, welchem das Gesetz der Wärme-Abnahme in der Höhe unterworfen ist, uns kaum erlaubt, eine für alle Tageszeiten und Jahreszeiten gültige Regel aufzustellen.

Unter den Beobachtern, welche auf eigne Beobachtungen gestützt den Coefficienten zu bestimmen gesucht haben, verdient auch d'Aubuisson genannt zu werden. Seine Beobachtungen betrafen die Höhe des St. Bernhard über Turin und die des monte Gregorio, und obgleich seine Vergleichung der Beobach-

1 Tables barométriques pour faciliter le calcul des mesures des hauteurs. Gotha 1809.

tungen zeigt[1], daſs man zu verschiedenen Tageszeiten einen andern Werth des Coefficienten erhält, so nimmt er doch als am passendsten 18317 Meter = 56387,8 Fuſs an[2], setzt statt dessen aber[3], um die eine Correction wegen Abnahme der Schwerkraft zu ersparen, 18365 Meter; oder auch, wenn man die zweite Correction wegen Abnahme der Schwere mit darin begreifen will, 18375[4].

G. G. Schmidt setzt nach eignen Beobachtungen den Coefficienten = 56262 bei 0° Wärme und die Correction = $\frac{1}{261}$ für jeden Wärmegrad[5].

de Villefosse, der übrigens de Luc's Formel beibehält, nimmt die Berichtigung wegen der Wärme nicht = $\frac{1}{215}$, sondern = $\frac{1}{182,4}$ an, ohne jedoch zu behaupten, daſs diese aus Winterbeobachtungen auf dem Harze abgeleitete Bestimmung allgemein gültig sey[6]. Die Untersuchungen von Tralles[7], Mollweide[8], haben nicht den Zweck, die beständigen Gröſsen der Formeln zu berichtigen. Greatorix[9] hat zwar dahin gehörende Vergleichungen angestellt, aber ohne sie zu einem vollendeten Resultate zu führen. Vesini's Untersuchungen[10] habe ich nicht nachsehen können.

Dagegen muſs ich doch noch etwas aus Daniell's theoretischen Untersuchungen[11] erwähnen. Er sucht in dem ersten Abschnitte seiner Abhandlung über die Constitution der Atmosphäre, den Druck und die Strömungen in einer ganz dunstfreien Atmosphäre zu bestimmen. Er nimmt den barometrischen Coefficienten = 26250 . 2,302585 engl. Fuſs = 56665 franz. Fuſs

1 Journal de Physique Tome. LXXI. 6.

2 Traité de Géodésie. Tome I. (übers. v. Wildemann. Dresden 1822. S. 439).

3 a. a. O. S. 442.

4 Vgl. G. XXXVIII. 270. LXVII. 287.

5 G. G. Schmidt Lehrbuch der Naturlehre. Gieſsen 1826 S. 187.

6 G. XXVI. 205. XXVIII. 58.

7 G. XXVII. 400.

8 G. LXII. 300.

9 Phil. Transact. for 1818.

10 Mem. de Bologna Tome. II.

11 Meteorological Essays and Observations. London 1823.

Digitized by Google

an, bei der Temperatur = 0, indem er bei 30 engl. Zoll Druck die Dichtigkeit der Luft = $\frac{1}{10300}$ setzt, welches bei 336,9049 Paris. Lin. oder 0,76 Meter $\frac{1}{10418,5}$ giebt. Hieraus würde nun die Höhe leicht zu berechnen seyn, wenn nicht die Temperatur in der Höhe abnähme; aber diese Abnahme glaubt er durch folgende Regel bestimmen zu können[1]. Wenn in 0 Höhe das Barometer 30 Zoll, in 5000 F. Höhe dagegen 24,797 steht, so soll man $\frac{30}{24,797} - \frac{24,797}{30} = 1,21 - 0,826 = 0,384$ mit 45 multipliciren, um die Wärme-Abnahme in 5000 F. Höhe in Fahrenh. Grade zu erhalten, oder mit 20, um sie in Réaum. Graden zu erhalten. Darnach wäre nun

| | | | |
|---|---|---|---|
| in 5000 F. Höhe die Wärme | = − 7,7 R. | = + 14,8. F. |
| in 10000 F. . . . . . . . . | = − 15,6 | = − 3,1. F. |
| in 20000 F. . . . . . . . . | = − 33,6 | = − 43,6. F. |

Wegen dieser mindern Wärme stehe das Barometer um $\frac{1}{480}$ für jeden Fahrenh. oder um $\frac{1}{213,3}$ für jeden Réaum. Grad niedriger als es sollte, und er setzt daher die in 5000 Fuſs Höhe gefundene Barometerhöhe = 24,797, um $\frac{17,2}{480} \cdot 24,797 = 0,888$ herab; die auf 10000 Fuſs gefundene = 20,499, um

$$\frac{35,1}{480} \cdot 20,499 = 1,497$$

herab, und so ferner[2].

Daniell sucht dann die Frage zu beantworten, wie sich diese Barometerstände ändern würden, wenn in der untern Station die Wärme von 32° auf 48° Fahrenh. stiege. Auf 0 Fuſs Höhe, wo noch immer die ganze Atmosphäre lastet, bleibt der Druck = 30 Zoll; aber die untere wegen erhöhter Wärme leichtere Luft giebt bei 5000 Fuſs keine so starke Abnahme der Barometerhöhe[3], und das Barometer steht in 5000 Fuſs nun höher.

---

1 Die auch im Art. *Erde*. Th. III. S. 1018. angeführt ist.

2 Ich verstehe den Grund dieser Rechnung nicht ganz. Erstlich hat Daniell statt der von mir berechneten Abzüge 0,848 und 1,393, zweitens müſste man nach meiner Meinung nur die Mittelwärme der ganzen Luftsäule nehmen, also nur etwa halb so viel subtrahiren.

3 Nach meiner Ansicht sollte man das Gewicht der zwischen 0

Nach diesen Ueberlegungen und unter der Voraussetzung, daſs am Pole die Wärme an der Erde = 0° F. am Aequator 30° F. sey, berechnet er die in gleichen Höhen ungleichen Barometerstände am Pole und am Aequator,

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| dort in | 5000 F. Höhe | = 23,597 | bei | — 18,5 | Wärme. |
| in | 20000 F. | .. 11,411 | .. | — 82,1 | |
| hier in | 5000 F. | .. 24,342 | .. | + 64,4 | |
| in | 20000 F. | .. 13,043 | .. | + 12,8 | |

daraus entstehen nun Luftströmungen, deren Berechnung ich um so weniger weiter verfolge, da mir schon bei dem bisher Angeführten manche Zweifel aufgestoſsen sind.

Endlich gehört hierher doch auch noch Dalton's Ansicht von der Mischnng verschiedener Luftarten. Nach dieser Ansicht sind die vier Stoffe, die sich in der Atmosphäre finden, Sauerstoffgas, Stickgas, kohlensaures Gas und Wasserdämpfe so ausgetheilt, wie sie es seyn würden, wenn jeder dieser Stoffe allein da wäre, und einer nicht auf den andern wirkte. Benzenberg hat theils aus Dalton's Angaben, theils aus daran geknüpften Schlüssen Folgendes hergeleitet[1].

Nach den in unserer Atmosphäre vorhandenen Quantitäten der verschiedenen Luftarten kann man für mittelmäſsig feuchte Luft annehmen, daſs unter dem Drucke jeder einzelnen dieser vier Atmosphären das Barometer am Meere folgende Höhen zeigen wird

| | | |
|---|---|---|
| Stickluft | 21,2336 | Zoll |
| Sauerstoffluft | 6,4986 | |
| Kohlens. Luft | 0,0278 | |
| Wasserdämpfe | 0,4200 | |
| | 28,18 | Zoll. |

Der barometrische Höhen-Coefficient würde für diese vier Atmosphären in eben der Ordnung seyn

---

und 5000 liegende Säulen, welches = 30 — 23,949 nach Daniell's Rechnung war, um $\frac{16}{480}$ herabsetzen, also die Barometerhöhe um $6,051 \cdot \frac{1}{30} = 0,202$ erhöhen, wodurch sie $23,949 + 0,202 = 24,151$ würde; Daniell hat aber nur 24,072. Die Wärme-Abnahme müſste nun hier $\frac{30}{24,072} - \frac{24,072}{30} = 0,444$ mult. mit 45 seyn = 19,98; aber Daniell hat dafür nur 16,6 statt vorhin 17,2.

1 G. XLII. 164.

58186; 50579;
37592; 80565;

und hieraus berechnet Benzenberg eine Tafel, woraus ich nur einige Zahlen entlehne.

Barometerstände in verschiedenen Höhen.

| Höhe über d. Meere | Stick-luft. | Sauerst. Luft. | Koh-lensaur. Luft | Dämpfe. | Summe nach Dalton. | nach d. gewöhnl. Theor. | Diff. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21,234 | 6,498 | 0,028 | 0,420 | 28,180 | 28,180 | 0,000 |
| 10000 | 14,294 | 4,122 | 0,015 | 0,316 | 18,747 | 18,767 | 0,020 |
| 20000 | 9,623 | 2,614 | 0,008 | 0,237 | 12,482 | 12,498 | 0,016 |

Hier zeigt sich also ein Unterschied von 0,02 Zoll = 0,24 Lin., welches allerdings in einer Höhe, wo das Barometer nur 12 Z. hoch steht, 30 Fuſs betrüge. Aber wir werden bald sehen, daſs die Höhenbestimmungen noch nicht so genau sind, daſs wir aus Vergleichung der Beobachtungen entdecken könnten, ob diese, der Dalton'schen Theorie gemäſse Abweichung von der gewöhnlichen Berechnung statt fände, und es scheint mir daher völlig überflüssig, die Frage, ob Dalton Recht habe oder nicht[1], weiter zu erörtern.

## Untersuchungen über einige noch erforderliche Correctionen bei den berechneten Höhen.

Unsere Theorie der Höhenmessungen setzte voraus, daſs die Luft vollkommen trocken sey, daſs die Wärme entweder überall gleich oder wenigstens so ausgetheilt sey, daſs man die Mittelwärme als überall herrschend ansehen könne, und daſs keine zufälligen Ungleichheiten, kein Wind, kein Steigen oder Fallen des Barometers an einem Orte statt finde. Alle diese Umstände sind aber in der Natur nicht so vollkommen, wie die Bequemlichkeit der Rechnung es wünschen lieſse, vorhanden.

1. Was zuerst die in der Luft enthaltenen Dämpfe betrifft, so würde sich darüber, wenn nur der hygrometrische Zustand

1 Eben der Meinung ist Tralles, der übrigens sehr nahe eben die Differenz, wie Benzenberg findet. G. XXVII. 446. Vergl. *Atmosphäre.* Th. I. S. 488.

der ganzen Luftsäule genau bekannt wäre, eine regelmäſsige Rechnung führen lassen. Allemal ist der gesammte Druck $= P$, welchen die Luft ausübt, der Summe der elastischen Kraft der trocknen Luft, und der in ihr enthaltenen Dämpfe gleich, und wenn der letztere $= F$ heiſst, so ist der erstere $= P - F$; die Dichtigkeit der aus Luft und Dämpfen gemischten Masse wird also auf folgende Weise berechnet. Heiſst D die Dichtigkeit trockener Luft, wenn sie von dem Gewichte P comprimirt ist, so ist $D \cdot \frac{P-F}{P} = D\left(1 - \frac{F}{P}\right)$ die Dichtigkeit der in der gegebenen Mischung enthaltenen Luft; die Dämpfe dagegen haben allemal, wenn sie ihre gröſste Dichtigkeit besitzen, eine Dichtigkeit $= \frac{5}{8}$ der gleichen Druck ausübenden Luft. Nehmen wir also zuerst an, die Dämpfe in der Luft besäſsen den höchsten Grad der Dichtigkeit, $= \frac{5}{8} \cdot D \cdot \frac{F}{P}$, so wäre statt D zu setzen

$$D\left(1 - \frac{F}{P} + \frac{5}{8}\frac{F}{P}\right) = D\left(1 - \frac{3}{8}\frac{F}{P}\right),$$

und F müſste aus Beobachtung gegeben seyn. Wir wollen, da alle unsre Rechnungen den Nullgrad der Temperatur als Normalzustand voraussetzen, F so groſs ansetzen, wie es einem Dampfe angemessen ist, der eine mittlere Dichtigkeit hätte, oder da der dichteste Dampf bis 0° R. einen Druck $= 0{,}1282$ Zoll ausübt, hier $F = 0{,}0641$ setzen; dann hätten wir statt D nun $D\left(1 - \frac{3}{8} \cdot \frac{0{,}0641}{28}\right) = D\,(1 - 0{,}000858)$ und der barometrische Coefficient ginge aus 56385,5 in $56385{,}5\,(1 + 0{,}000858) = 56433{,}9$ Fuſs $= 18332$ Meter über. So würde man ihn also gebrauchen können, wenn man Luft von mittlerer Feuchtigkeit bei 0° R. voraussetzte [1], und bei Beobachtungen, wo keine hy-

---

1 Biot setzt die Dichtigkeit des Dampfs $= \frac{5}{7}$, also statt D, $D\left(1 - \frac{F}{P} + \frac{5}{7}\frac{F}{P}\right) = D\left(1 - \frac{2}{7}\frac{F}{P}\right)$, er setzt ferner $F = 0{,}005122$ Meter für Dampf von gröſster Dichtigkeit bei 0° R., also $F = 0{,}002561$ für mittelmäſsig feuchte Luft, und demnach

$$D\left(1 + \frac{2}{7} \cdot \frac{0{,}002561}{0{,}76}\right) = D\,(1 + 0{,}0009628);$$

wodurch der Coefficient aus 18316,22 Meter in 18333,86 Meter übergeht, das ist in 56440 Fuſs; und Biot bemerkt nun, da Ramond aus

grometrische Bestimmung gegeben ist, verdient dieser Coefficient den Vorzug, ja man dürfte ihn noch um etwas erhöhen, weil der Mittelzustand der Luft sich gewiſs mehr zur gröſsten Feuchtigkeit, als zur gröſsten Trockenheit hinneigt, und so bewährt sich Ramond's aus Vergleichen barometrisch berechneter und wirklich gemessener Höhen hergeleiteter Coefficient, = 56446 Par. Fuſs, als sehr wohl dem mittlern Feuchtigkeitszustande der Luft entsprechend.

Aber nicht bloſs für die Temperatur = 0, müssen wir diese Berücksichtigung der Dämpſe anbringen, sondern auch bei jeder andern Wärme. Da nun die Elasticität des Dampfs[1] bei gröſster Dichtigkeit von 0,1282 Zoll bis auf 0,8500 Zoll für die nächsten 20 Grade über Null wächst, so hätte man ungefähr für jede Wärme = t; 0,1282 + t . 0,03609 oder bei mittlerer Dichtigkeit = 0,0641 + t . 0,01804. Darnach also müſste bei irgend einer Wärme das für trockne Luft geltende D' in

$$D' \left(1 - \tfrac{3}{8}\frac{F}{P}\right) = D' \left(1 - \tfrac{3}{8} . \frac{0,0641}{28} - \tfrac{3}{8} . t . \frac{0,01804}{28}\right)$$
$$= D' (1 - 0,000858 - t . 0,000242)$$

übergehen, oder da D' auch für trockne Luft schon

$$= D (1 - t . 0,004688) = D \left(1 - \frac{t}{213,3}\right) \text{ war, in}$$
$$D (1 - 0,000858 - t (0,004688 + 0,000242))$$

übergehen, wofür man D (1 — 0,000858) (1 — t . 0,00493) setzen darf[2]. Will man also bei jeder Höhenmessung die Feuchtigkeit der Luft als ungefähr in der Mitte zwischen Trockenheit und gröſster Feuchtigkeit stehend ansehen, so müſste die oben angegebene, auf trockene Luft bezogene Formel

$$h - H = 56385 . K \left(1 + \frac{1}{213,3} . \left(\frac{T' + t'}{2}\right)\right) \log. \frac{P''}{p''},$$

---

barometrischen Höhenmessungen 18336 Meter finde, so diene dieses zum Beweise für die Richtigkeit der Angaben, welche der theoretischen Rechnung zum Grunde liegen.

1 S. Th. II. S. 351.

2 Biot findet, indem er andre Experimente zum Grunde legt, D' (1 — 0,0009628) (1 — 0,0001627 . t') für Centesimalgrade, also D' (1 — 0,0009628) (1 — 0,000203 . t') für Réaumürsche Grade. Ich habe mich hier, da eine vollendete Genauigkeit doch noch nicht möglich ist, an die im Art. *Dampf* Th. II. S. 351. angegebenen Zahlen gehalten.

Digitized by Google

$$\text{in } h-H=56434 \,.\, K\left(1+0{,}00493\,.\left(\frac{T'+t'}{2}\right)\right)\log.\frac{P''}{p'''},$$

verwandelt werden, und daſür setzt man genau genug

$$h-H=56434 \,.\, K\left(1+0{,}005\,.\left(\frac{T'+t'}{2}\right)\right)\log.\frac{P''}{p'''},$$

oder könnte auch den Ramond'schen Coefficienten 56446 beibehalten, da eine Unsicherheit, die mehr als 12 Fuſs beträgt, aus dem schwankenden Feuchtigkeitszustande der Luft hervorgeht[1].

Obgleich es immer schwer bleiben wird, die Feuchtigkeit aller einzelnen Theile der zwischen beiden Stationen liegenden Luftsäule zu bestimmen, so scheint mir doch die Beantwortung der Frage, wie man die Angabe des Hygrometers hier in Betrachtung ziehen könne, noch einen Platz zu verdienen. Ich nehme daher an, man habe in beiden Stationen den Thaupunct, das heiſst diejenige Wärme, bei welcher die Dämpfe sich an festen Körpern niederschlagen, beobachtet, und sehe das aus diesen Beobachtungen genommene Mittel als für die ganze Luftsäule geltend an. In diesem Falle wäre es am angemessensten, die Rechnung zuerst ganz so zu führen, wie sie für vollkommen trockne Luft geführt werden müſste, und dann den nöthigen Correctionsfactor beizufügen. Es sey also bei der vorhin berechneten Messung die Wärme = 9,25 R., und die Wärme, wobei nasser Niederschlag entstand, der Condensationspunct der Dämpfe = 6° R. Für Dämpfe von 6° Wärme ist bei gröſster Dichtigkeit die Elasticität = 0,234 Zoll, und da bei jener Beobachtung der Druck im Mittel zwischen beiden = 23,485 Zoll betrug, so müſsten wir davon 23,251 der trocknen Luft zuschreiben und ihre Dichtigkeit = D', die Dichtigkeit der Däm-

---

1 Wenn man diese Rücksicht bei dem oben berechneten Exempel des Pic de Bigorre anwendet, so hätte man $(T'+t')\ 0{,}0025 = 0{,}04625$;

$$56446 \,.\, 0{,}04625 = 2610{,}63,$$

$$56446 \,.\left(1+\left(\frac{T'+t'}{2}\right)0{,}005\right) = 59056{,}6, \text{ und}$$

$59056{,}6 \,.\, \log.\frac{P''}{p''} = 8015{,}3$; diese Zahl erhält, wie oben gezeigt ist, noch einen additiven Theil = 23 Fuſs, wenn man auf den veränderlichen Werth der Schwerkraft sieht, und die ganze Höhe ist also

berechnet = 8038 Fuſs,

trigonom. gemess. = 8044 Fuſs.

pfe $= \frac{3}{8} \cdot \frac{0{,}234}{23{,}251}$ D′ setzen, und $\left(1 - \frac{3}{8} \cdot \frac{0{,}234}{23{,}251}\right)$ D′ wäre der Coefficient für die berichtigte Dichtigkeit oder

$$\left(1 + \frac{3}{8} \cdot \frac{0{,}234}{23{,}25}\right) = 1{,}00377,$$

oder wenn die Beobachtung wirklich auf dem Pic de Bigorre ganz so statt gefunden hätte, so müſste man die für trockne Luft gefundne Höhe = 8008, noch mit 1,00377 multipliciren, oder in 8038 verwandeln. Das stimmte genau mit der so eben für mittlere Feuchtigkeit berechneten Höhe überein. Hätte dagegen der Condensationspunct bei 9 Grad gelegen, oder wäre die Luft fast im höchsten Grade feucht gewesen, so hätte man[1]

$\left(1 + \frac{3}{8} \cdot \frac{0{,}31}{23{,}25}\right) = 1{,}005$ setzen, also 8008 in 8048 verwandeln müssen. — Dieses zeigt ungefähr, wie viel bei nicht sehr hoher Temperatur die Unsicherheit wegen des Einflusses der Feuchtigkeit betragen kann, und wiefern man, vorzüglich bei hohen Temperaturen und starken Abweichungen von dem mittlern Feuchtigkeitszustande das Hygrometer zu berücksichtigen Ursache hat.

Die Untersuchung, wie man auf die Feuchtigkeit Rücksicht nehmen solle, hat in der neuesten Zeit mehrere Physiker beschäftigt. Aus Daniell's oben genannter Schrift muſs ich wenigstens etwas ausheben. Daniell sucht im zweiten Abschnitte seiner schon oben angeführten Abhandlung die Untersuchung über den Barometerstand so zu führen, wie sie einer reinen Dampfatmosphäre entspräche. Er nimmt bei 32° F. die Dichtigkeit des Wasserdampfs von 0,200 Zoll engl. Spannkraft $= \frac{1}{240{,}8}$ an, die Dichtigkeit trockner Luft = 1 gesetzt. Der barometrische Coefficient müsse also, da die Dichtigkeit dieses Dampfs $= \frac{1}{2528400}$ der Dichtigkeit des Quecksilbers und 0,2 Zoll der Druck ist,

$$= 10500 \cdot 240{,}8 \cdot 0{,}2 \text{ Zoll} = 505680 \text{ Zoll}$$
$$= 42140 \text{ Fuſs}$$

seyn, und so finde man in 5000 Fuſs Höhe den Druck der bloſsen Dampfatmosphäre, = 0,177 Zoll; aber diese Elasticität des Dampfs entspreche der Temperatur von 28,5 Graden F., die da-

1 Nach der Tafel Th. II. S. 351.

her jener Höhe angehören werde. Auf ähnliche Art rechnet er für andere Wärmegrade und giebt, indem er jedem Breitengrade eine angemessene mittlere Wärme beilegt, den Zustand der Dampfatmosphäre in verschiedenen Breiten. Dieser hypothetische Zustand stimmt indeſs zu wenig mit der Wirklichkeit überein, um dabei zu verweilen. Seine Untersuchungen im dritten Abschnitte, wo eine aus Luft und Dampf gemischte Atmosphäre vorausgesetzt wird, gehören mehr hieher. Wenn die Luft zuerst trocken die Erde umgäbe, nun aber aus dem die Oberfläche der Erde umgebenden Wasser Dämpfe aufnähme, so würde nach Daniell's Angabe folgende Aenderung statt finden, wo alles sich auf englisches Maſs uud Fahrenh. Grade bezieht. Die Temperatur war in 0 F. Höhe 77°.

| Höhe | Temperatur | Barom. ohne Dämpfe | Barom. nach Eintr. d. Dämpfe. | Thaupunct. |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 76,5 | 30,000 | 30,139 | 65 |
| 5000 | 61,1 | 25,214 | 25,348 | 52 |
| 10000 | 44,9 | 21,193 | 21,318 | 32 |
| 20000 | 9,3 | 14,970 | 15,079 | 0 |

Die Schlüsse, worauf diese Tafel beruht, sind zu zusammengesetzt, um hier Platz zu finden[1].

Daſs man sich nicht begnügen darf, nach mittlern Feuchtigkeitsgraden zu rechnen, wie Benzenberg es angiebt[2], brauche ich kaum zu erwähnen. Es ist nämlich ganz gewiſs, daſs es im Juli und August trockne Tage und im Januar und Februar feuchte Tage geben kann, und daſs an jenen, der Wärme ungeachtet, die Berichtigung wegen der Feuchtigkeit viel weniger betragen kann, als Benzenberg findet.

2. Ich komme jetzt zu einem Umstande, um dessen willen oft eine sehr bedeutende Correction nöthig seyn würde, wenn es nur nicht so schwer wäre, die Data durch Beobachtung zu erhalten, deren wir bedürften, um diese Correction anzubringen. Dieser Umstand ist die ungleiche und auf eine sehr

---

1 Hieher gehörige Bemerkungen finden sich in Annals of Philos. New. Series Vol. X. p. 48. und im Edinb. philos. Journal. T. XI. 260. XIII. 224.

2 Benzenb. höhere Rechenkunst und Trigonometrie. (Düsseldorf. 1813.) S. 504. 514.

mannichfaltige Weise wechselnde Abnahme der Wärme in der Höhe. Wenn auch die beiden Beobachtungspuncte als in einer verticalen Säule über einander liegend angesehen werden könnte, so ist es doch selten richtig, daſs die ganze Luftsäule so anzusehen sey, als ob ihre Wärme der Mittelwärme zwischen den in beiden Endpuncten beobachteten Temperaturen gleich wäre, und es läſst sich in Beziehung hierauf gar keine feste Regel geben, weil die Wärmeabnahme in der Höhe nach den Jahreszeiten und nach den Tageszeiten, selbst an einerlei Orte, ungleich ist. Wir besitzen hierüber noch nicht Beobachtungen genug, können aber doch Folgendes als gewiſs festsetzen.

Man nimmt gewöhnlich an, daſs die Wärme in der Höhe ziemlich gleichförmig abnimmt, und obgleich die im Art. *Erde*[1] angeführten Erfahrungen schon zeigen, daſs die Gröſse der Wärmeabnahme in verschiedenen Jahreszeiten und an verschiedenen Orten ungleich ist, so würde doch dieses, wenn man Beobachtungen im höchsten und tiefſten Puncte vor sich hat, keine groſse Unsicherheit in der Bestimmung der Höhe geben. Etwas mehr Abweichung von der Wahrheit würde die angenommene Mittelwärme schon geben, wenn d'Aubuisson's[2] Bestimmung der Wärmeabnahme richtig wäre; denn wenn von 0 bis 3000 Fuſs Höhe die Wärme auf jede 522 Fuſs um 1 Centes. Grad abnimmt, von 3000 bis 6000 Fuſs auf jede 905 Fuſs, von 6000 bis 9000 Fuſs Höhe auf jede 714 Fuſs, von 9000 bis 12000 F. Höhe auf jede 403 Fuſs, ebenso viel abnimmt, so hätte man

| | | |
|---|---|---|
| in 0 Fuſs Höhe, | F. Wärme | = a |
| 3000 F. Höhe | . . . . . . | = a — 5,75 Grad |
| 6000 F. Höhe | . . . . . . | = a — 9,06 |
| 9000 F. Höhe | . . . . . . | = a — 13,26 |
| 12000 F. Höhe | . . . . . . | = a — 20,70 |

Hier ist leicht zu übersehen, daſs man für die Mittelwärme = a — 10,35 den Correctionsfactor $= 1 + \frac{a - 10,35}{266,6}$, (weil $\frac{1}{213,3}$ für 1° R. giebt $\frac{1}{266,6}$ für 1° C.) setzen müſste, statt daſs es richtiger, wenn man Stationenweise die Mittelwärme

1 Th. III. S. 1008.
2 Th. III. S. 1017.

Digitized by Google

$$a - 2{,}87,\quad a - 7{,}40,$$
$$a - 11{,}16,\quad a - 16{,}98$$

suchte und aus diesen das Mittel nähme, $= 1 + \frac{a - 9{,}6}{266{,}6}$ seyn würde. Diese Ungleichheit betrüge auf 12000 Fuſs Höhe etwa 34 Fuſs. Aber diese Ungleichheit, die aus Voraussetzung einer gleichmäſsig abnehmenden, und einer nach d'Aubuisson's Angabe ungleichförmig abnehmenden Wärme hervorgeht, ist noch nicht die erheblichste, sondern eine viel gröſsere geht dadurch hervor, daſs die Wärme der untern Schichten so sehr wechselnd ist. Nach den theils von mir selbst angestellten, theils von Pictet und Six schon früher bekannt gemachten Beobachtungen, nimmt die Wärme nicht immer von der Erde an in den nächsten über der Erde liegenden Schichten ab, sondern oft sind diese Schichten wärmer, als die untern, und daraus eigentlich erklären sich Saussüre's Beobachtungen über die nach den Tageszeiten wechselnden Ungleichheiten der Wärmeabnahme[1]. In den Mittagsstunden ist die Erdfläche in der Ebene sehr erhitzt, in groſser Höhe dagegen, z. B. in 10000 Fuſs Höhe hat die Luft nicht in gleichem Maſse an Wärme zugenommen, die Wärmedifferenz ist also gröſser, und die Höhe, welche 1 Grade Wärmedifferenz zugehört, ist kleiner als zu jeder andern Zeit. Nach Sonnenuntergang dagegen und während der Nacht kühlt sich die Ebene stark ab, und bringt die Wärme der benachbarten Luftschichten sehr herab, statt daſs in höhern Gegenden der Unterschied der Temperatur nicht so groſs ist. Diese Ungleichheit der Temperatur findet aber vorzüglich in den Schichten statt, die nicht sehr hoch über der Ebene liegen, und bringt in die Bestimmung des Gewichts der ganzen Luftsäule eine Ungewiſsheit, über welche die Beobachtungen in dem höchsten und tiefsten Puncte nichts entscheiden. Ist zum Beispiel, wie es bei Six's Beobachtungen im Winter einmal statt fand[2], die Wärme Abends in 3 Fuſs Höhe über dem Boden 14° F. in 220 F. Höhe = 25° F., und nehmen wir nun für eine gröſsere Höhe, z. B. 4020 Fuſs die Wärme so an, wie sie im Winter bei einer Aenderung von 1 Centes. Grad auf 95 Toisen Höhe[3] etwa seyn

1 Art. *Erde* Th. III. S. 1011.

2 Brandes Beob. über die Strahlenbrechung. S. 37.

3 Art. *Erde* Th. III. S. 1013.

müſste, = 2° F. so ergäbe beim gewöhnlichen Höhenmessen mit dem Barometer, die Beobachtung im tiefsten und höchsten Puncte die Mittelwärme der ganzen Luftsäule = 8° F. = — $10\frac{2}{3}$° R., und man würde sich berechtigt glauben, anzunehmen, daſs diese Luftsäule von 4020 Fuſs Höhe ebenso viel wiege, als eine von $4020\left(1+\frac{10,7}{213,3}\right) = 4221$ Fuſs hoch bei 0 Gr. Wärme. Aber nehmen wir die auf 220 F. angestellte Beobachtung hinzu, und setzen auch voraus, was nicht einmal richtig seyn kann, daſs gerade bis hierher die Wärme zunahm, und dann abnahm, so erhalten wir die mittlere Temperatur des untern Theils = $19\frac{1}{2}$ Gr. F. = — $5\frac{5}{9}$ R., des obern Theils = $13\frac{1}{2}$° F. = — $8\frac{2}{9}$° R., und das Gewicht der ganzen Luftſäule so groſs als das einer

$$220\left(1+\frac{5\frac{5}{9}}{213,3}\right) + 3800\left(1+\frac{8\frac{2}{9}}{213,3}\right) = 4172$$ Fuſs hohen Luftsäule von 0° Temperatur. Und diese um $\frac{1}{85}$ vom Vorigen abweichende Angabe muſs doch noch erheblich von der Wahrheit entfernt seyn; denn da die Wärme in 9 Fuſs Höhe schon 16 Grad war, so können wir mit groſser Wahrscheinlichkeit annehmen, daſs sie in 30 Fuſs Höhe 19 Grad war, und die Mittelwärme für die unteren 220 Fuſs mochte vielleicht 23 Gr. Fahrenh. oder — 4° R. betragen. Die Correction ergiebt sich noch mehr abweichend, wenn man annimmt, wozu man wohl berechtigt ist, daſs jene gröſsere Wärme sich noch über 220 Fuſs hinaus erstreckte.

Schon de Luc[1] hat die Unrichtigkeit bemerkt, die aus dieser Ungleichheit der Temperatur bei Beobachtungen vorzüglich zur Zeit des Sonnenaufgangs entsteht; er schreibt aber unrichtig diesen Fehler dem zur Zeit des Sonnenaufgangs statt findenden Ostwinde zu, und bemerkt, daſs wenn ein anderer Wind wehet, diese Unrichtigkeit geringer ausfällt. Bei trübem Wetter hätte er keine Beobachtungen angestellt, sonst würde er wahrscheinlich gefunden haben, daſs bei trübem Himmel und einigem Winde keine so erhebliche Abweichungen um die Zeit des Sonnenaufgangs statt finden, indem dann die höhern Luftschichten nicht so erheblich wärmer sind als die unteren.

---

1 Untersuchungen über die Atmosphäre. (Leipzig. 1778). Th. II. S. 69. 132.

Digitized by Google

Eine ähnliche, aber entgegengeſetzte Unrichtigkeit geben nach de Luc, die Beobachtungen in den mittlern Tagesſtunden, indem sie[1] die Höhe zu groſs angeben. Hier ist nämlich[2] die Wärme nahe an der Erde zu groſs, und man braucht nur um wenige Fuſse aufzuſteigen, um eine geringere Temperatur zu finden; nimmt man alſo zwiſchen der in 3 Fuſs Höhe und in 10000 F. Höhe beobachteten Wärme das Mittel, ſo iſt dieſes gröſser als die wahre mittlere Wärme der Luftſäule. Meine Beobachtungen zeigen, daſs dieſe mittägliche Differenz der Wärme nicht ſo groſs iſt als an heitern ſtillen Tagen die Differenz der Wärme in verſchiedenen Höhen nach Sonnenuntergang. Nach meinen Beobachtungen nämlich iſt kurz nach Sonnenuntergang dieſe Differenz in den untern Luftſchichten am gröſseſten, und es verdiente die nähere Beſtimmung des ganzen Fortganges dieſer Aenderungen wohl durch eine eigne Reihe von Beobachtungen unterſucht zu werden[3].

Ramond, Delcros und D'Aubuisson haben auf dieſen Gegenſtand ſehr geachtet, aber keine ſichere Regel, um dieſer Unſicherheit auszuweichen, angeben können. Ramond fand[4] aus 99 Beobachtungen ſein Beobachtungszimmer zu Barèges über das von Dangos in Tarbes am kleinſten = 907 Meter um 10 Uhr Abends, am gröſseſten = 936 Meter um Mittag und noch etwas gröſser würde die Höhe in den dem Mittage folgenden heiſseſten Stunden ſeyn. Ramond ſchreibt dieſe Variation vorzüglich dem aufſteigenden und abſteigenden Winde zu; aber man kann, glaube ich, mit Sicherheit behaupten, daſs die unregelmäſsige Wärmeabnahme den wichtigſten Einfluſs hat. In den Pyrenäen fand Ramond die Beobachtungen ungefähr um $\frac{1}{48}$ der ganzen Höhe von einander abweichend, und glaubt daher, wenn man Abendbeobachtungen oder Morgenbeobachtungen benutzen wolle, ſo müſſe man den Coefficienten um $\frac{1}{72}$ ändern, dagegen um $\frac{1}{144}$ im entgegengeſetzten Sinne, wenn man Beobachtungen in den

1 a. a. O. S. 131.

2 Vergl. Brandes Beob. über die Strahlenbrechung. S. 34. D'Aubuisson im Journ. de Phys. LXXI. 26.

3 Daſs auch die in den Mannheimer Sammlungen mitgetheilten Beobachtungen auf dem Gotthard und in Genf eben dieſe Ungleichheit geben, habe ich in meinen *Beiträgen* zur Witterungskunde. S. 60. bemerkt.

4 Mémoires sur la formule barométrique. pag. 41. 96.

Digitized by Google

heiſsesten Tagesstunden der Berechnung unterwerfe. Diese Correction scheine für groſse Höhen geringer, als für kleine, und sey von Localität und Jahreszeit abhängig, bemerkt Ramond; und allerdings muſs sie in groſsen Höhen geringer werden, weil die Unregelmäſsigkeit am gröſsten ist in den niedrigsten Gegenden der Atmosphäre.

D'Aubuisson hat über die ungleichen Resultate in verschiedenen Tagesstunden eine ganze Reihe von Bestimmungen [1] mitgetheilt, denen die täglich angestellten Beobachtungen auf dem groſsen St. Bernhard und in Genf zum Grunde liegen. Diese zeigen, daſs in den trüben und kalten Monaten November und December die Differenz zwischen den Morgenbeobachtungen und Mittagsbeobachtungen klein, dagegen in den heiſsen Monaten groſs sind; und es läſst sich daher wohl vermuthen, daſs die Tage, an welchen die Morgenwärme und Mittagswärme sehr verschieden sind, die gröſsten Differenzen geben.

Berechnete Höhe aus 3 Beobachtungen bei Sonnenaufgang um 2 Uhr.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Januar | — | 2058 | — | 2091 |
| Februar | — | 2065 | — | 2104 |
| März | — | 2093 | — | 2130 |
| April | — | 2058 | — | 2119 |
| Mai | — | 2080 | — | 2132 |
| Juni | — | 2074 | — | 2147 |
| Juli | — | 2084 | — | 2119 |
| August | — | 2075 | — | 2137 |
| September | — | 2068 | — | 2117 |
| October | — | 2071 | — | 2095 |
| November | — | 2061 | — | 2076 |
| December | — | 2062 | — | 2081 |
| | Mittel | 2071 | | 2112 |

Eynard's Berechnung aus vier Jahrgängen von Beobachtungen ergeben fast genau dieselben Mittelzahlen.

Aehnliche Untersuchungen von Delcros [2], geben zwischen

1 Géognosie, am Ende des ersten Theils. Die im 71. Th. S. 6 des Journ. de Phys. mitgetheilten Beobachtungen, die ein eben solches Resultat geben, übergehe ich.

2 Annales de Ch. et Phys. VIII. 95. und Biblioth. univers. VII. 236.

Digitized by Google

den Mittagsbeobachtungen und denen von 8 Uhr früh eine Differenz von 3 Meter auf 264 Meter, also $\frac{1}{90}$ des Ganzen bei so geringer Höhe und dieses im November, wo der Einfluſs der Tageszeiten nicht der gröſste ist.

D'Aubuisson's Rath[1], die Beobachtungen zur Höhenmessung Morgens um 8 Uhr und Nachmittags um 4 Uhr anzustellen, scheint mir sehr angemessen; dieses ist so ziemlich die Zeit, da die Unregelmäſsigkeit der Wärmescale am unbedeutendsten ist. Aber da der Coefficient = 18312, für die Mittagsbeobachtungen eingerichtet sey, so müsse man ihn um 0,011 vermehren und auf 18513 Meter setzen, damit er für solche Beobachtungen passend werde. Um dagegen einen für alle Tageszeiten nicht zu sehr abweichenden Coefficienten zu haben, sey 18312 . 1,0044 = 18394 zu nehmen.

Da, wie aus meinen Beobachtungen der Strahlenbrechung erhellet, an den stillen Sommerabenden, welche heitern Tagen folgen, die Wärme in den der Erde nahen Schichten oft fast in jedem Augenblicke eine andre ist, so müssen zu dieser Zeit die Beobachtungen am allermeisten unsicher werden. Ja sie müssen das noch mehr seyn, wenn sich solche ungemein warme Luftschichten in der Höhe befinden, wie sie ohne Zweifel dann vorhanden seyn müssen, wenn die ungewöhnlichen Luftspiegelungen statt finden[2]. An diese Verbindung der Wechsel in der

---

1 Journ. de Phys. LXXI. 6.

2 Daſs die oberwärts wiederholten Bilder eine groſse Wärme der höhern Luftschichten andeuten, glaube ich in den Beobachtungen über die Strahlenbrechung S. 122. hinreichend gezeigt zu haben; aber La Perouse hat auch solche heiſse Luftschichten in der Höhe beobachtet, die man im Mastkorbe brennend heiſs empfand, während auf dem Verdeck die Wärme mäſsig war. Diese Beobachtung ward an der Küste von Korea angestellt. Vielleicht muſs hieraus auch Ramond's Beobachtung (S. 53.) erklärt werden, daſs man bei Gewittern allemal die Höhe zu klein und 20 bis 40 Meter zu klein findet. Giebt es bei Gewittern, (eigentlich wohl vor ihrem Ausbruche, wie ich aus Beobachtungen der Strahlenbrechung schlieſse) heiſse Luftschichten in der Höhe, so ist die Luftsäule leichter, als unsere unten und auf den Bergen beobachteten Temperaturen sie angeben; wir berechnen also die Höhe zu klein. Ramond scheint selbst hierauf hinzudeuten, indem er les agitations secrètes de l'atmosphère, qui invertissent à notre insu l'ordre dans lequel décroissent de bas en haut la chaleur et la densité de l'air, als die gröſseste Ursache der ungleichen Resultate angiebt. (S. 54.) Vergl. Art. *Hagel*.

Digitized by Google

Strahlenbrechung mit den Wechseln in der Wärme-Abnahme der höhern Luftschichten, lieſse sich eine Beobachtungsreihe knüpfen, die für die Lehre vom barometrischen Höhenmessen wohl nicht ohne Nutzen seyn würde, da sie ziemlich geradezu das bisher Gesagte bestätigen oder widerlegen könnte. Man sollte nämlich Beobachtungen des Barometers durch eine Reihe von Tagen von Stunde zu Stunde anstellen, damit aber in dem untern Standpuncte Beobachtungen der irdischen Strahlenbrechung, etwa so angeordnet, wie es meine Beobachtungen waren, verbinden. Kannte man nun die wahre Höhe der Gegenstände, auf die man in letzterer Beziehung sein Augenmerk gerichtet hatte, so würde man die Zeit aus den Beobachtungen angeben können, wo der Lichtstrahl gerade zum Auge kommt, oder wo der von viel höhern Gegenständen kommende Lichtstrahl so gekrümmt zum Auge gelangt, wie es einer regelmäſsigen Abnahme der Wärme und Dichtigkeit der Luft gemäſs ist; und diese Zeitpuncte müſsten dann, abgesehen von andern Fehlern, diejenigen seyn, wo Rechnung und Beobachtung am besten übereinstimmten; ja es lieſsen sich dann wohl an diese verbundenen Beobachtungen genauere Untersuchungen über die in jedem Zeitpuncte in jeder Höhe statt findende Wärme anstellen. Diese Beobachtungen werden freilich nicht ohne Schwierigkeit seyn; aber gewähren auch vielseitige Aufschlüsse, wenn sie gut und mit Ausdauer ausgeführt werden.

Man würde dabei wohl thun, auch das Hygrometer mit zu berücksichtigen; denn da auch der Feuchtigkeitszustand der obern und untern Luft im Laufe des Tages regelmäſsigen Wechseln unterworfen ist, so ist einiger Einfluſs dieser Verschiedenheit wohl zu vermuthen, indeſs scheint dieser nicht die Hauptsache zu seyn.

3. Zu diesen Schwierigkeiten, die einer genauen Höhenmessung im Wege stehen, kommen nun noch andre, die von dem horizontalen Abstande der Orte von einander abhängen. Selbst wenn die beiden Orte auch nur einige Meilen von einander entfernt sind, so sind doch die Aenderungen des Barometerstandes nicht so gleichzeitig, daſs man nicht beim Steigen oder Fallen des Barometers eine Ungleichheit bemerken sollte. Parrot und Engelhardt fanden bei ihrem zu Bestimmung der Höhe des Caspischen Meeres angestellten Nivellement eine auf solchen Ursachen beruhende Abweichung ihrer zweiten Messung von

der ersten, welche bei nicht vollen 4 Meilen Entfernung eine Differenz von 18,8 Toisen betrug[1].

Eynard und Favre fanden bei ihren in Genf und Rolle angestellten Beobachtungen sehr groſse Ungleichheiten, obgleich diese Orte fast in gleicher Höhe, nämlich der eine nur 15,7 Meter höher als der andre, lagen und die Entfernung nur 99600 Fuſs betrug. Selbst die Mittel aus den Mittagsbeobachtungen ganzer Monate schwanken zwischen 2 Meter und 33 Meter[2]. Es wäre hier sehr der Mühe werth, die genauen Umstände jeder einzelnen Beobachtung zu kennen. Aehnliche Beispiele lieſsen sich aus den in Cork und nahe bei Cork in Irland angestellten Beobachtungen[3] hernehmen, vorausgesetzt, daſs man sich auf die Genauigkeit derselben verlassen kann. Daſs diese Differenzen mit der Richtung des Windes in Verbindung stehen, scheint Wild bei seinen Beobachtungen in Mühlheim im Breisgau zuerst bemerkt zu haben, indem er diese mit Beobachtungen in Bern und in Carlsruhe verglich. Wenn der Wind aus den Richtungen zwischen Süden und Westen wehete, so ergab sich die Höhe des südlich liegenden höheren Ortes zu klein, und umgekehrt bei nördlichen und nordwestlichen Winden zu groſs, das heiſst also, das Barometer stand an dem Orte, von welchem her der Wind kam, höher, als es nach Maſsgabe der Beobachtung an dem Orte, wohin er ging, hätte stehen sollen; dieses betrug so viel, daſs jene zwischen 880 und 909 Fuſs, diese zwischen 947 und 984 Fuſs schwankte[4]. Ich selbst habe, ohne damals diese Beobachtungen von Wild zu kennen, eine groſse Reihe von Beobachtungen berechnet, die auf dem St. Gotthard, in Genf und in Padua angestellt worden, und die in den Mannheimer meteorologischen Ephemeriden mitgetheilt sind[5]. Sie ergeben auf eine gar keinem Zweifel unterworfene Weise, daſs die Höhe zu klein ist, wenn der Wind von dem köhern Orte

1 Parrot's und Engelhardt's Reisen nach dem Caucasus. II. Th.

2 Biblioth. univers. 1818. Eine ähnliche Ungleichheit, deren Grund nicht erhellet, findet Schumacher. (Astr. Nachr. IV. 193.)

3 Thomson's Annals of Philos. 1819. Febr.

4 Allg. geogr. Eph. 1799. Nov. S. 385.

5 Brandes Beiträge zur Witterungskunde S. 216. Was D'Aubuisson in Beziehung auf die Differenzen zwischen Beobachtungen an sehr entfernten Orten sagt, Journ. de Phys. LXXI. 20. scheint mir nicht genügend.

Digitized by Google

herkömmt, oder daſs das Barometer im Allgemeinen an dem Orte zu hoch steht, wo der Wind herkommt. Bei westlichen und nordwestlichen Winden fand sich der Gotthard höher über Genf, weniger hoch über Padua, als es der Fall seyn sollte. Die Mittel aus sieben Monaten, wo jedoch nur die Tage genommen wurden, an welchen der Wind eine beständige Richtung behielt, geben:

| | | | |
|---|---|---|---|
| 80 Tage NW. die Höhe | über Genf | 88 F. | zu groſs |
| | über Padua | 48 F. | zu klein |
| 37 Tage SO. die Höhe | über Genf | 9 F. | zu groſs |
| | über Padua | 23 F. | zu groſs |
| 30 Tage SW. und S. | über Genf | 29 F. | zu klein |
| | über Padua | 11 F. | zu groſs |
| 40 Tage stürmischer Nordwestwind | | | |
| | über Genf | 98 F. | zu groſs, |
| | über Padua | 74 F. | zu klein, |

die seltnern (vielleicht auch schwächern) Südwinde geben kein so genügendes Resultat als die Nordostwinde; aber daſs die sämmtlichen Nordwestwinde eine Differenz von 136, die stürmischen Nordwestwinde eine Differenz von 172 Fuſs gerade in dem angegebenen Sinne ergeben, statt daſs die Südostwinde — 14 Fuſs, die Süd- und Südwestwinde — 40 Fuſs geben, ist gewiſs entscheidend genug, um diesen Einfluſs des Windes, als sicher bewiesen, anzusehen. Eine Menge anderer Beobachtungen, die ich in den Beiträgen zur Witterungsurkunde gelegentlich angeführt habe, zeigen eben dasselbe.

Ramond's Zusammenstellungen scheinen mir eben das zu ergeben, obgleich er diesen Einfluſs der Winde bloſs aus der Ungleichheit ihrer Temperatur erklärt. Clermont-Ferrand liegt beinahe genau südlich von Paris und etwa 340 Meter höher als Paris. Nach meinen eben erklärten Ueberzeugungen muſs also der Nordwind bei einem in Paris etwas höheren Barometerstande statt finden, und die Höhe muſs bei Nordwinden zu groſs gefunden werden. Aus 356 einzelnen Beobachtungen findet Ramond[1] diese Höhe

| | | | |
|---|---|---|---|
| bei Nordwinde | = | 363 | Meter. |
| bei Ostwinde | = | 351 | — |
| bei Westwinde | = | 330 | — |
| bei Südwinde | = | 313. | — |

1 a. a. O. S. 121.

Wie sich bei Höhenmessungen eine auf diesen Umstand passende Correction anbringen lasse, wie diese von der Richtung und Stärke des Windes und von der Entfernung der Orte von einander abhängen müsse, das erhellet zwar hieraus noch nicht; aber wir sehen wenigstens, daſs schon dieses Umstandes wegen eine bis auf einzelne Fuſse gehende Höhenbestimmung nach den bisherigen Regeln ganz unmöglich ist, und nur durch Zufall eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen der barometrisch berechneten und der wahren Höhe statt finden kann.

Ramond legt den von der horizontalen Richtung abweichenden Luftströmungen und den Winden, die an Berg-Abhängen hinauf oder von ihnen herabgehen, einen bedeutenden Einfluſs bei, und obgleich ich nicht geneigt bin, alles das daraus zu erklären, was Ramond daraus erklärt, so ist doch diese Einwirkung gewiſs nicht abzuleugnen. Nach Ramond's Meinung[1] besteht während der heiſsen Tagesstunden ein aufwärts gerichteter Luftstrom, aus welchem er die täglichen Oscillationen des Barometers glaubt erklären zu können, dessen Einfluſs auf das Höhenmessen aber erst dann genauer sich wird bestimmen lassen, wenn die Wechsel der Wärme in verschiedenen Höhen genau bekannt sind. Daſs dieser Strom bei den Höhenbestimmungen minder, als diese ungleiche Temperatur in Betrachtung kömmt, scheint schon daraus deutlich hervorzugehen, daſs die Höhendifferenzen zu verschiedenen Tageszeiten auffallender sind bei mäſsigen Höhen, wo der Luftstrom doch minder verschieden seyn kann. Auch glaube ich mich doch nicht zu irren, wenn es mir scheint, als ob dieser aufwärts gehende Strom unten stärker als oben seyn, und folglich den entgegengesetzten Fehler in den Höhenbestimmungen hervorbringen müſste.

Dagegen mögen bei gewissen örtlichen Verhältnissen diese gegen den Horizont geneigten Winde einen merklichen Einfluſs haben. Ramond[2] beobachtete längere Zeit in dem 1290 Meter über dem Meere liegenden Thale von Barèges, welches als sehr schmaler Zwischenraum zwischen Bergen liegt, die noch 1200

1 Sur la formule bar. p. 89. Andere Betrachtungen, die er p. 102. über die Winde anstellt, scheinen mir nicht gegründet. Das Fallen des Barometers soll bei stürmischem Wetter von einer nicht horizontalen Richtung der Winde abhängen; aber oft fällt das Barometer an den Orten am meisten, wo kein Sturm beobachtet wird.

2 a. a. O. p. 47.

bis 1400 Meter höher sind. Hier müssen daher fast immer herabwärts gehende Winde statt finden, und das um so mehr, da die kalte Luft der beschneiten Gipfel an den Abhängen herabflieſst. Die Höhe der Beobachtungs-Orte über Tarbes war durch ein Nivellement genau bekannt, und es schien der Mühe werth, mehr als vierhundert in jenem Thale und in Tarbes angestellte Beobachtungen zu berechnen. Die Beobachtungen gaben höchst bedeutende Differenzen, die hier wohl zu erwarten waren; aber keine gab die wahre Höhe, selbst das Mittel aus allen *Mittags*-Beobachtungen gab die Höhe um 20 Meter zu klein. Hier stand also das Barometer in dem eingeengten, hoch liegenden, Thale zu hoch, wie es der niederwärts gehende Wind forderte. Dieses Resultat war um so entscheidender, da die Mittagswärme in diesem eingeengten Thale gewiſs gröſser war, als in den gleich hohen frei liegenden Luftschichten, und aus diesem Grunde die Rechnung, auf eine zu groſse Mittelwärme eingerichtet, die Höhe eher zu groſs hätte geben sollen. Und ein directer Gegenversuch bestätigte jene Meinung vollkommen. Der Pic du Midi ist 1654 Meter über jenem Puncte des Thales von Barèges, aber die von 10 bis 1 Uhr angestellte Beobachtung gab im Mittel 1667, die Mittagsbeobachtung 1670, also fast eben so viel zu viel, als jene zu wenig, wie es seyn muſste. Ramond bemerkt daher, daſs freie Berghöhen am richtigsten durch das Barometer bestimmt werden.

Bei Orten, die sehr weit von einander entfernt liegen, ist die Unsicherheit der Bestimmung wegen der nicht gleichzeitigen Aenderung des Barometerstandes ungemein groſs. Am 24. Dec. 1821 um 9 Uhr Abends stand das Barometer in Zürch nur 4 Linien niedriger als in La Chapelle bei Dieppe, obgleich die Differenz 10 Linien betragen muſste; man würde die Höhe von Zürch über Dieppe also um ganze $\frac{3}{5}$ zu klein gefunden haben. Am 25. Dec. 1821 gegen Mittag stand in Petersburg das Barometer 17 Linien höher als in Harlem, obgleich beide Orte so gut wie genau gleich hoch liegen [1]. Damit hängen unstreitig auch die starken Wechsel zusammen, die man bei stürmischem Wetter in den Höhenbestimmungen minder entfernter Orte findet.

---

1 Brandes de repentinis variationibus in press. aëris observatis. Lips. Schwickert. 1826.

Digitized by Google

Auch hiezu geben meine Beiträge zur Witterungskunde[1] Beispiele, indem unter andern im März 1783 bei stürmischem Wetter die Höhe des Gotthard über Genf folgendermaſsen bestimmt ward. Am 4. März 5250, am 5. März 4820, am 6. März 5280, am 7. März 5280, am 8. März 5450, am 9. März 5330, also um 630 Fuſse verschieden. Bei so unruhigem Zustande der Atmosphäre wird man wohl nicht leicht Höhenbestimmungen machen wollen; aber gleichwohl ist es wichtig zu wissen, welche groſse Ungleichheiten statt finden können, um darnach auf die auch bei mäſsigern Winden und bei geringerem Steigen und Fallen des Barometers eintretenden Ungleichheiten zu schlieſsen.

Wenn man die Tiefe von Bergwerksschachten bestimmt, so kann sich zu den bisher erwähnten Ursachen ungleicher Höhenbestimmungen noch eine andre gesellen. In der freien Atmosphäre haben wir, in eudiometrischem Sinne, doch immer nur eine und dieselbe Luftart oder Luftmischung, in Höhlen und Schachten dagegen kann die atmosphärische Luft mit andern Luftarten gemischt seyn, und ist es gewiſs sehr oft. Daſs dann ein ganz anderer Coefficient gewählt werden müſste, ist klar, und ich will nicht dabei, sondern nur bei einigen andern hierher gehörigen Bemerkungen verweilen. Wenn das Barometer sehr stark, und vorzüglich, wenn es sehr plötzlich fällt, so müssen sich wohl diejenigen Luftarten, die sich aus den Spalten der Felsen oder wo sonst her entwickeln, am reichlichsten entwickeln, so wie unter der Luftpumpe bei aufgehobenem Drucke die Luft aus Wasser und andern Körpern hervordringt. Man wird also bei tiefem Barometerstande am meisten hierauf zu achten haben; man wird bei tiefem Barometerstande wahrscheinlich am meisten das Verlöschen der Lichter wegen fremder Luftarten bemerken.

## Bestimmung der Höhen aus ganzen Reihen von Beobachtungen, und von der Bestimmung der Höhe eines Ortes über dem Meere.

Wenn man den eben bemerkten Unsicherheiten bei der Höhenbestimmung ausweichen will, so muſs man die Beobachtungs-

1 S. 62.

puncte nicht zu weit von einander entfernt wählen; man muſs die Tage, wo das Barometer starke Aenderungen seiner Höhe erleidet, vermeiden, oder darf wenigstens an solchen Tagen den Beobachtungen keinen hohen Grad von Sicherheit beilegen. Die Beobachtungen müssen so viel als möglich, gleichzeitig angestellt werden, und um die täglichen Variationen in der Abnahme der Wärme bei verschiedenen Höhen minder schädlich zu machen, ist es gut, an heitern, stillen Tagen in den mittlern Stunden des Vormittags und Nachmittags, also etwa um 9 Uhr und 4 Uhr zu beobachten, und dagegen die Mittagsstunden, noch mehr aber die Abendstunden, die Nachtbeobachtungen und die um Sonnen-Aufgang angestellten Beobachtuugen auszuschlieſsen. Am besten aber ist es, an mehrern Tagen die Beobachtungen zu wiederholen, dabei aber immer die eben erwähnten Stunden zu wählen, und dann das Mittel aus den berechneten Höhen zu nehmen.

Diese Vergleichung mehrerer Beobachtungen ist vorzüglich dann wichtig, wenn die Orte weit von einander entfernt sind. Da hier die Einwirkung jener Umstände, welche die Höhenberechnung unsicher machen, fast gar nicht zu vermeiden ist, so muſs man derselben durch zahlreiche, unter ganz verschiedenen Umständen angestellte Beobachtungen auszuweichen suchen, indem da die ganz zufälligen Einflüsse eines ungleichzeitigen Steigens und Fallens des Barometers sich aller Wahrscheinlichkeit nach aufheben werden, und der Einfluſs des Windes nur allenfalls dadurch, daſs ein Wind mehr als der andre herrschend gewesen ist, noch in einigem Grade merklich bleiben kann. Am besten ist es, eine solche Reihe zahlreicher Beobachtungen einzeln zu berechnen; indeſs kann man sich allenfalls auch begnügen, die beobachtete Mittelhöhe des Barometers in Verbindung mit der mittlern Wärme so in Rechnung zu nehmen, wie man es bei einzelnen Beobachtungen thut. Daſs diese Mittelzahlen aus *allen* gut angestellten Beobachtungen hergeleitet werden müssen, und daſs man ja nicht das Mittel zwischen dem höchsten und tiefsten Barometerstande dafür annehmen darf, habe ich wohl nicht erst nöthig zu erwähnen; das letztere Verfahren würde um so unrichtiger seyn, da das Barometer an einigen Orten viel tiefer unter die Mittelhöhe sinkt als an andern Orten, und deshalb das Mittel zwischen den Extremen nicht allein nicht die Mittelhöhe ist, sondern auch nicht einmal eine an beiden

Digitized by Google

Orten gleich viel von der Mittelhöhe abweichende Bestimmung giebt[1].

Hierin liegt auch die Regel, wie man die Höhe über dem Meere für Orte findet, die entfernt vom Meere liegen. Es ist dabei nöthig, die genaue mittlere Barometerhöhe an der Meeres-Oberfläche zu kennen, deren Bestimmung nicht ohne Schwierigkeit ist[2]. Nur in der heiſsen Zone ist es, wegen der groſsen Gleichförmigkeit der Aenderungen des Barometerstandes möglich, aus einzelnen Beobachtungen die Höhe über dem Meere zu berechnen, wie Oltmanns es aus von Humboldt's Beobachtungen gethan hat[3].

## Unvermeidliche Fehler.

Die Frage, welche Sicherheit die barometrischen Höhenmessungen gewähren, wenn alle theoretischen Schwierigkeiten glücklich besiegt wären, verdient noch eine kurze Beantwortung, um so mehr da einige Beobachtungsregeln sich daran anreihen.

Ich halte es zwar für überflüssig, die Regeln zu wiederholen, die bei Beobachtung des Barometers allemal zu beobachten sind; ich übergehe auch die Wärme-Correction[4] und die Correction wegen der Capillarität[5], und bemerke nur Folgendes, als unserm Gegenstande besonders angehörend.

Nach d'Aubuisson, der die sorgfältigsten Bemühungen auf diesen Gegenstand gewandt hat, kann man 1. bei der genauesten Beobachtung des Barometers eine unvermeidliche Unsicherheit von 0,1 bis 0,2 Millimeter oder von 0,04 bis 0,09 Linien an-

1 Nach Schön's Witterungskunde ist auf dem St. Gotthard, die wahre Mittelhöhe = 21″ 9‴,47, das Mittel zwischen der äuſsersten = 21″ 8‴,7, das Mittel zwischen den Extremen mehrerer Jahre = 21″ 8‴,0. Dagegen in Genf das wahre Mittel = 26″ 10‴,96, Mittel zwischen den höchsten und tiefsten Ständen = 26″ 7‴,85, Mittel zwischen den Extremen mehrerer Jahre = 26″ 9‴,02. In Mittelburg Mittelhöhe = 28″ 0‴,38, Mittelhöhe aus den Extremen = 27″ 9‴,25, Mittel aus den Extremen mehrerer Jahre = 27″ 10‴,57.

2 Vergl. Art. *Barometer* Th. I. S. 914. Ramond S. 69. 187.

3 v. Humboldt nivellement barométrique. in dem 4. Theile der Voyage de Humb. et Bonpl. Astronomie. I. p. 286. 289.

4 S. Art. *Barometer* Th. I. S. 900.

5 S. *Capillarität* Th. II. S. 907.

nehmen und dieser Irrthum bringt 4 bis 9 Fuſs Fehler in die Höhenbestimmung. 2. Sehr leicht kann man in der Bestimmung der Temperatur des Quecksilbers um 1 Grad fehlen, da, wenn die Kugel des Thermometers nicht in das Quecksilber des Barometers selbst eingetaucht ist, leicht das Thermometer eine etwas andre Wärme haben kann; 1 Grad Fehler bringt aber bei 28 Zoll Barometerhöhe eine Differenz von 0,067 Linien oder in der Höhenbestimmung etwa 5 Fuſs hervor. Diese Fehler können bei kleinen Höhen-Unterschieden eben so gut, als bei groſsen vorkommen, und da sie bei beiden Beobachtungen summirend einwirken können, so kann der Fehler von 9 bis 12 Fuſs sich verdoppeln. 3. Auch die Temperatur der Luft kann um 1 Grad fehlerhaft gefunden werden, indem ein unbedeutender Wind, oder das Vortreten einer Wolke vor die Sonne und viele andre Umstände ein Schwanken des Thermometers hervorbringen, wodurch die Bestimmung der wahren Wärme bis auf 1 Grad unsicher werden kann. Ein solcher Fehler von 1 Grade bringt aber wenigstens 2 oder 3 Tausendtel der ganzen Höhe als Fehler in das Resultat. Diese Umstände zusammen können also, wenn sich die Fehler anhäufen, die Höhen, die auch nur 5000 Fuſs betragen, um mehr als 30 Fuſs fehlerhaft angeben.

Wenn man sich in dem Falle befindet, Höhen bestimmen zu wollen, ohne an einem nahen Orte einen Gehülfen zu haben, der die correspondirenden Beobachtungen macht, so muſs man den bedeutenden Fehler, der aus dem Steigen und Fallen des Barometers in der Zwischenheit von einer Beobachtung zur andern entstehen kann, dadurch zu vermeiden suchen, daſs man an jeder Station lange genug verweilt, um die stündliche Aenderung des Barometers wahrzunehmen. Findet man am zweiten Orte eben die stündliche Aenderung wie am ersten, so kann man bei nicht zu groſser Zwischenzeit mit einiger Wahrscheinlichkeit annehmen, daſs diese Aenderung stetig fortgedauert habe, indeſs bleibt man immer Unsicherheiten ausgesetzt, die, zumal bei nicht bedeutenden Höhen-Unterschieden, die ganze Arbeit untauglich machen können[1].

Zum Schlusse muſs ich doch noch erwähnen, daſs das

1 Am Schlusse des oft angeführten Werkes von Ramond findet sich eine: Instruction élémentaire et pratique sur l'application du baromètre à la mesure des hauteurs.

Digitized by Google

Differential - Barometer zu Höhenbestimmungen gebraucht werden kann, daſs mir aber noch keine wirklichen mit demselben angestellten Messungen bekannt sind, und daſs bei sehr genauen Messungen es schwerlich den Vorzug vor dem gewöhnlichen Barometer verdienen möchte, da hingegen, wo eine sehr groſse Genauigkeit nicht verlangt wird, wohl einige Bequemlichkeit gewähren mag.

## Abgekürzte Berechnung und Tafeln.

Da die Correctionen, welche man bei den Höhenmessungen wegen der ungleichen Schwerkraft anzubringen hat, wenig betragen, so kann man sich oft begnügen, die Rechnung ohne Rücksicht auf diese zu führen, und dann lassen sich die Regeln der Rechnung so angeben.

1. Man drücke die in beiden Stationen beobachteten Barometerhöhen in einerlei Maſs aus, und füge der im untern Standpuncte angestellten diejenige Correction bei, welche (nach der im Art. *Barometer* Th. I. S. 903. gegebenen Tafel) der Differenz der Wärme des Quecksilbers gemäſs ist; — diese Correction ist fast immer subtractiv, weil fast immer die Wärme im obern Standpuncte geringer ist.

2. Man suche die Briggischen Logarithmen der corrigirten Barometerhöhe des untern Standpunctes und der beobachteten Barometerhöhe des obern Standpunctes, und subtrahire den letzteren von dem ersteren.

3. Diese Differenz multiplicire man mit dem barometrischen Höhen-Coefficienten, den man nach d'Aubuisson 18375 Meter oder um mit den gleich zu erwähnenden Gaussischen Tafeln übereinzustimmen = 18382 Meter = 56587 Fuſs setzen mag.

4. Die so gefundene Zahl gäbe die Höhe richtig bei Null Grad Wärme; ist aber die Mittelwärme der Luft in beiden Standpuncten höher, so muſs man zu jener Höhe so viel Zweihundertel zulegen, als die Mittelwärme Réaumürsche Grade über Null ist. Will man genauer rechnen, so findet man alle nöthigen Regeln im Vorigen, und ich kann daher die weitern Verbesserungen übergehen.

Da es aber bei einer Rechnung, die oft sehr wiederholt angewandt werden muſs, angenehm ist, Hülfstafeln zu ihrer Er-

Digitized by Google

leichterung anzuwenden, so setze ich hier noch die kleinen Gaussischen Tafeln her, deren Berechnung auf folgenden Gründen beruht, und deren Gebrauch ich nachher zeigen will.

Setzen wir den barometrischen Coefficienten = 18382 Meter, und nehmen wir an, daſs er sich um $\frac{1}{250}$ für jeden Réaumürschen Wärmegrad ändert, so ist sein Briggischer Logarithme

$$\text{für } 0^\circ = 4{,}26439$$
$$\text{für } +1^\circ = 4{,}26656$$

also wenn die Summen der Thermometerstände im Freien = 2°, folglich die Mittelwärme = 1° ist, hätte man den Logarithmen = 4,26656; Gauss hat dafür 4,26658 gesetzt. So erklärt sich die Entstehung der ersten Tafel, wo A der Logarithme des jeder Wärme entsprechenden barometrischen Coefficienten ist. Ich habe noch A′ für Pariser Fuſse beigefügt. Dieses A gilt für 45 Grad Breite; es wird etwas gröſser für kleinere Polhöhen und kleiner für gröſsere; die zweite Tafel giebt an, um wie viel man die fünfte Decimalstelle von A bei jeder Polhöhe ändern muſs.

Die dritte Tafel giebt an, wie viel der Logarithme der gefundenen Höhe in der fünften Decimale geändert werden muſs, um der Abnahme der Schwere in der Höhe Genüge zu thun. Diese beiden Correctionen lassen sich aus den obigen Formeln leicht finden. Gauss bringt nun zuerst die Correction wegen der Wärme des Quecksilbers dadurch an, daſs er von dem Logarithmen der beobachteten Barometerhöhe in der fünften Decimalstelle zehnmal so viel Einheiten abzieht, als das Thermometer Réaumürsche Grade zeigt. Eigentlich ist

$$\log P = \log P' \left(1 - \frac{T}{4440}\right)$$
$$= \log P + \log \left(1 - \frac{T}{4440}\right)$$
$$= \log P - \frac{T \cdot 0{,}43429}{4440}$$

also nahe genug = log. P — T . 0,0001, und das gerade ist die Gaussische Correction, die wegen der geringen Wärmedifferenzen ausreicht.

Digitized by Google

## Gauss's Tafeln.

### Erste Tafel.

t + t′ ist die Summe der in beiden Stationen beobachteten Wärme der Luft.

| t + t′ | A für Meter. | A′ für Par. Fuſs. | t + t′ | A für Meter. | A′ für Par. Fuſs. |
|---|---|---|---|---|---|
| — 10° | 4,25337 | 4,74170 | + 21° | 4,28667 | 4,77500 |
| 9 | 4,25448 | 4,74281 | 22 | 4,28770 | 4,77603 |
| 8 | 4,25560 | 4,74393 | 23 | 4,28874 | 4,77707 |
| 7 | 4,25671 | 4,74504 | 24 | 4,28976 | 4,77809 |
| 6 | 4,25781 | 4,74614 | 25 | 4,29079 | 4,77912 |
| 5 | 4,25892 | 4,74725 | 26 | 4,29181 | 4,78014 |
| 4 | 4,26002 | 4,74835 | 27 | 4,29283 | 4,78116 |
| 3 | 4,26111 | 4,74944 | 28 | 4,29385 | 4,78218 |
| 2 | 4,26220 | 4,75053 | 29 | 4,29487 | 4,78320 |
| 1 | 4,26330 | 4,75163 | 30 | 4,29588 | 4,78421 |
| 0 | 4,26439 | 4,75272 | 31 | 4,29689 | 4,78522 |
| + 1 | 4,26548 | 4,75381 | 32 | 4,29790 | 4,78623 |
| 2 | 4,26658 | 4,75491 | 33 | 4,29891 | 4,78724 |
| 3 | 4,26765 | 4,75598 | 34 | 4,29991 | 4,78824 |
| 4 | 4,26872 | 4,75705 | 35 | 4,30092 | 4,78925 |
| 5 | 4,26980 | 4,75813 | 36 | 4,30192 | 4,79025 |
| 6 | 4,27087 | 4,75920 | 37 | 4,30291 | 4,79124 |
| 7 | 4,27195 | 4,76028 | 38 | 4,30391 | 4,79224 |
| 8 | 4,27301 | 4,76134 | 39 | 4,30490 | 4,79323 |
| 9 | 4,27408 | 4,76241 | 40 | 4,30589 | 4,79422 |
| 10 | 4,27514 | 4,76347 | 41 | 4,30688 | 4,79521 |
| 11 | 4,27620 | 4,76453 | 42 | 4,30787 | 4,79620 |
| 12 | 4,27726 | 4,76559 | 43 | 4,30885 | 4,79718 |
| 13 | 4,27832 | 4,76665 | 44 | 4,30984 | 4,79817 |
| 14 | 4,27937 | 4,76770 | 45 | 4,31082 | 4,79915 |
| 15 | 4,28042 | 4,76875 | 46 | 4,31179 | 4,80012 |
| 16 | 4,28147 | 4,76980 | 47 | 4,31277 | 4,80110 |
| 17 | 4,28251 | 4,77084 | 48 | 4,31374 | 4,80207 |
| 18 | 4,28356 | 4,77189 | 49 | 4,31471 | 4,80304 |
| 19 | 4,28460 | 4,77293 | 50 | 4,31568 | 4,80401 |
| 20 | 4,28564 | 4,77397 | | | |

Digitized by Google

## Zweite Tafel.

Correction von A.

| Polhöhe. | + | | Polhöhe. | + | |
|---|---|---|---|---|---|
| 0° | 0,00124 | 90° | 23° | 0,00086 | 67° |
| 1 | 123 | 89 | 24 | 83 | 66 |
| 2 | 123 | 88 | 25 | 79 | 65 |
| 3 | 123 | 87 | 26 | 76 | 64 |
| 4 | 122 | 86 | 27 | 73 | 63 |
| 5 | 122 | 85 | 28 | 69 | 62 |
| 6 | 121 | 84 | 29 | 65 | 61 |
| 7 | 120 | 83 | 30 | 62 | 60 |
| 8 | 119 | 82 | 31 | 58 | 59 |
| 9 | 118 | 81 | 32 | 54 | 58 |
| 10 | 116 | 80 | 33 | 50 | 57 |
| 11 | 115 | 79 | 34 | 46 | 56 |
| 12 | 113 | 78 | 35 | 42 | 55 |
| 13 | 111 | 77 | 36 | 38 | 54 |
| 14 | 109 | 76 | 37 | 34 | 53 |
| 15 | 107 | 75 | 38 | 30 | 52 |
| 16 | 105 | 74 | 39 | 26 | 51 |
| 17 | 102 | 73 | 40 | 21 | 50 |
| 18 | 100 | 72 | 41 | 17 | 49 |
| 19 | 97 | 71 | 42 | 13 | 48 |
| 20 | 95 | 70 | 43 | 9 | 47 |
| 21 | 92 | 69 | 44 | 4 | 46 |
| 22 | 89 | 68 | 45 | 0 | 45 |
| 23 | 86 | 67 | | | |
| | — | Polhöhe | | — | Polhöhe |

## Dritte Tafel.

Correction des berechneten Logarithmen V.

| V | + | V′ | V | + | V′ |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,9 | 0,00001 | 2,4 | 3,1 | 0,00009 | 3,6 |
| 2,3 | 1 | 2,8 | 3,2 | 11 | 3,7 |
| 2,4 | 2 | 2,9 | 3,3 | 14 | 3,8 |
| 2,5 | 2 | 3,0 | 3,4 | 17 | 3,9 |
| 2,6 | 3 | 3,1 | 3,5 | 22 | 4,0 |
| 2,7 | 3 | 3,2 | 3,6 | 27 | 4,1 |
| 2,8 | 4 | 3,3 | 3,7 | 34 | 4,2 |
| 2,9 | 5 | 3,4 | 3,8 | 43 | 4,3 |
| 3,0 | 7 | 3,5 | 3,9 | 54 | 4,4 |

Die Rechnung nach diesen Tafeln wird so geführt. Nachdem man beide beobachtete Barometerstände in gleichem Maſse = b und = b′, die zugehörige Wärme des Quecksilbers = T und = T′ in Réaum. Graden ausgedrückt und die Summe der Tem-

peratur der Luft in beiden Stationen $= t + t'$ bestimmt hat, sucht man zuerst die Briggischen Logarithmen beider Barometerhöhen und schreibt hinter jeder das Zehnfache T oder T'. Man nimmt die Differenz der Logarithmen und die Differenz der hinter ihnen aufgezeichneten Zahlen, die letzte subtrahirt man von der Differenz der Logarithmen. Die so erhaltene Zahl $= u$ schlägt man in den Logarithmentafeln auf, und schreibt log. u hin; zu diesem addirt man das der Temperatur gemäſse, und nach der Polhöhe aus Tafel 2 corrigirte A; die Summe giebt V oder V' je nachdem man A oder A' aus der ersten Tafel angewandt hat; man fügt den aus der dritten Tafel hervorgehenden Correctionswerth hinzu, und hat dann die Logarithmen der Höhe, und diese Höhe in Fuſsen oder Metern ausgedrückt, je nachdem man A' oder A angewandt hat.

Unser voriges Beispiel würde hiernach so berechnet.

$$b = 27'',17\ ;\ T = 14,9;\quad t = 15,3$$
$$b' = 19,845;\ T' = 7,6;\quad t' = 3,2;$$
$$t + t' = 18,5.$$

| | | |
|---|---|---|
| log. b = 1,43409 | . . . . . . . . . . . . . | — 0,00149 |
| log. b' = 1,29765 | . . . . . . . . . . . . . | — 0,00076 |
| 0,13644 | | — 0,00073 |
| — 73 | | |
| u = 0,13571 | | |

A bedarf hier wegen der Polhöhe keiner Correction, da die Beobachtung fast unter 45° Breite angestellt wurde; daher

| | | |
|---|---|---|
| log. u | = | 9,13261 |
| A' | = | 4,77241 |
| Corr. | = | 0 |
| V' | = | 3,90502 |
| Correct. d. dritten Tafel | = | 17 |
| V' | = | 3,90519 |

aber 3,90519 = log. 8038,8.

und dieses wäre die Höhe in Par. Fuſsen.

Daſs ich andere Tafeln, welche die Höhenberechnung erleichtern, hier umständlich beurtheile, wird man wohl nicht erwarten; selbst die Angabe ihrer Einrichtung würde zu viel Raum fordern; ich setze indeſs die Titel derer, die mir bekannt sind, her:

Tables barométriques pour faciliter le calcul des nivellements et des mesures des hauteurs par le baromètre, par B. de

Lindenau. Gotha. 1809. Horner hat aus diesen Tafeln das Nöthigste auf wenige Seiten zusammengedrängt mitgetheilt in G. XXXIX. 470.

Benzenberg's Beschreibung eines einfachen Reisebarometers, nebst einer Anleitung zur leichtern Berechnung der Berghöhen. (Düsseldorf. 1810.)

Tables barométriques portatives donnans les differences de niveau par une simple soustraction, par Biot. (Paris. 1811.) — Auch in Traité élémentaire d'astronomie physique par Biot. Tome troisième.

Tabellen für barometrische Höhenmessungen von Garthe. (Giessen. 1817 in Sedez.)

Tables hypsométriques portatives par J. Oltmanns. Paris. 1811. Sie stehen auch in v. Humboldt's Voyage Partie IV. Vol. I. p. 325. Ein Auszug daraus in G. XXXVIII. 278.

Tafeln am Schlusse von Ramond's Mémoires.

Nuove Tavole barometriche e logarithmiche per facilitare i calcoli delle Altezze per mezzo del Barometro. Seconda Edizione. Genova. 1818.

E. M. Hahn, barometrische Tafeln, mit einer Anleitung zur Kenntniſs der meteorol. Werkzeuge u. s. w. (Breslau. 1823. 4.)

Littrow über Höhenmessungen durch das Barometer. (Wien. 1825.)

Tables hypsométriques pour le baromètre, divisé en pouces et lignes du pied français et pour le thermomètre octogésimal. Zuric. 1828. *B.*

## Höhenmessung,

thermometrische; *mensuratio altitudinum ope thermometri.* Auch das Thermometer kann zur Bestimmung der Höhen gebraucht werden. Da nämlich das Wasser früher, bei geringerer Wärme, siedet, wenn der Druck der Luft schwächer ist, so kann die Wärme, bei welcher das Wasser zum Sieden kommt, zur Bestimmung des Luftdrucks dienen. Die frühern Bemühungen de Luc's und anderer, welche mehr den umgekehrten Zweck hatten, auszumitteln, bei welcher Wärme das Wasser an Standpuncten von gegebener Höhe koche, übergehe ich hier, und verweile bloſs bei Wollaston's

Digitized by Google

Vorſchlage[1], das Thermometer geradezu als Werkzeug zur Höhenmeſſung anzuwenden[2].

Wollaston leitet aus Ure's Verſuchen[3] folgende Beſtimmungen ab. Wenn das Fahrenheit'ſche Thermometer ſo graduirt iſt, daſs ſein Siedepunct oder die Wärme = 212 Gr. dem Luftdrucke = 30 engl. Zolle angemeſſen iſt, ſo ſiede das Waſſer bei 202 Graden, wenn der Luftdruck $= \frac{30}{1,23}$, bei 192°, wenn er $= \frac{30}{1,23 \,.\, 1,24}$ ſey. Dieſes gäbe die zu 202° gehörige Barometerhöhe = 24,399; die zu 192° gehörige = 19,676. Wollaston weicht indeſs ein wenig von dieſer Beſtimmung ab, und ſetzt ſtatt 1,23; 1,231, wonach er dann die Austheilung auf die einzelnen Grade ſo vornimmt.

Da $\log. \sqrt[9]{\frac{1,24}{1,23}} = 0,0003907$ iſt, ſo iſt dieſes die Differenz der jedesmal zu addirenden Logarithmen und Wollaston giebt folgende Tafel, worin die zweite Differenz der Logarithmen eben jene Zahl iſt.

| Kochhitze. | Barometerhöhe. | Log. d. Bar. | Differenz. |
|---|---|---|---|
| 214 | 31,2395 | 1,4947043 | 87720 |
| 213 | 30,6149 | 1,4859323 | 88110 |
| 212 | 30,0000 | 1,4771213 | 88501 |
| 211 | 29,3949 | 1,4682712 | 88892 |
| 210 | 28,7993 | 1,4593820 | 89282 |
| 209 | 28,2133 | 1,4504538 | 89673 |
| 208 | 27,6367 | 1,4414865 | 90063 |
| 207 | 27,0695 | 1,4324802 | 90454 |
| 206 | 26,5115 | 1,4234348 | 90844 |
| 205 | 25,9627 | 1,4143504 | 91234 |
| 204 | 25,4230 | 1,4052270 | 91625 |
| 203 | 24,8923 | 1,3960645 | 92015 |
| 202 | 24,3704 | 1,3868630 | |

Hiernach läſst ſich nun leicht eine Tafel der zu jedem Siedepuncte gehörigen Höhe über dem Puncte angeben, wo das Barometer 30 Zoll ſteht; dieſe Tafel iſt nach Wollaston folgende:

---

1 Phil. Tr. for 1817. for 1820. p. 295.

2 Daſs ſchon viel früher (Ph. Tr. XXXIII. 179. u. LXXI. 524. eben der Gedanke geäuſsert ſey, bemerkt Wollaston ſelbſt.

3 Ph. Tr. 1818. p. 338.

| Wärme. | Höhe. | Wärme. | Höhe. | Wärme. | Höhe. |
|---|---|---|---|---|---|
| 213° | — 528 | 209 | 1600 | 205 | 3766 |
| 212 | 0 | 208 | 2138 | 204 | 4313 |
| 211 | + 531 | 207 | 2678 | 203 | 4863 |
| 210 | 1064 | 206 | 3221 | 202 | 5415 |

Wollaston giebt einige Beispiele von wirklich so bestimmten Höhen, bei der einen gab

| | | | |
|---|---|---|---|
| | die thermometr. Messung | | 3546,2 |
| | die barometrische | — | 3548,9 |
| | Roy's | — | 3555,4 |
| bei der andern | die thermometr. | — | 2350,5 |
| | die barometrische | — | 2391,8 |
| | Roy's | — | 2371 |

Er bediente sich hierbei eines so groſsen Thermometers, daſs jeder Grad beinahe 4 Zoll betrug und daher noch $\frac{1}{400}$ Grad abgelesen werden konnte. Er fand es aber schwierig, die Lampe, auf welcher das Wasser zum Kochen kam, gegen den Wind zu schützen, und glaubt, der Fehler der letzten Messung sey einem starken Winde zuzuschreiben, der doch wohl, obgleich Lampe und Wassergefäſs von einem kupfernen Gefäſs umgeben waren, den Wasserdampf um $\frac{1}{28}$ Grad mehr als das Thermometer abkühlte.

Es scheint daher nicht, daſs man mit dieser Messung viel weiter käme, zumal da die Temperatur der Luft eben so gut beachtet und alles das in Rechnung gezogen werden muſs, was als Correction bei den barometrischen Messungen vorkommt. Ich stelle deshalb auch keine weitern Untersuchungen über die Aenderungen an, welche Wollaston's Tafel erleiden müſste, wenn man ihr andre Bestimmungen zum Grunde legte, und bemerke nur, daſs Beispiele zur Vergleichung sich bei de Luc[1] finden, wo man aber daran denken muſs, daſs seine Thermometer ihren Siedepunct bei einem andern Barometerstande zeigten.

Ueber die Vorsichten, die man bei Verfertigung der zu diesem Zwecke tauglichen groſsen Thermometer anwenden muſs, verweise ich auf Wollaston's eigne Anleitung. Damit die Röhre nicht lang zu seyn brauche, läſst er das Thermometer so einrichten, daſs an die aus starkem Glase gemachte Kugel zuerst

1 Unters. über die Atmosphäre. Th. II. S. 510.

ein ziemlich weiter Theil der Röhre grenzt, in welchen sich das Quecksilber bei denjenigen Temperaturen, die selbst in den höchsten Puncten, welche man zu messen gedenkt, nicht hinreichen, um das Wasser zum Kochen zu bringen, zurückzieht. So umfaſst also die Scale und die enge Röhre, in welcher die genaue Ausdehnung des Quecksilbers gemessen werden soll, nur einen mäſsigen Raum und nur die Temperaturunterschiede, die nahe an die in verschiedenen Höhen statt findende Kochhitze reichen. *B.*

# Höhenpuncte.

Vermittelst des Nivellirens, der trigonometrischen Messungen, hauptsächlich aber, der Kürze und Leichtigkeit des Verfahrens wegen, vermittelst der Barometerbeobachtungen hat man allmälig eine groſse Menge Höhenpuncte auf unserer Erde bestimmt, welche man auf verschiedene Weise zusammengestellt findet. Meistentheils werden dieselben nach den Ländern geordnet, oder nach den Welttheilen, wenn wenigere Bestimmungen bekannt sind oder der Raum eine gröſsere Zahl derselben aufzunehmen verbietet, zuweilen nach dem Zusammenhange der Bergketten, seltener und nur für einzelne Erdtheile habe ich eine alphabetische Zusammenstellung gefunden. Unter den reichhaltigern Tabellen dieser Art können diejenigen genannt werden, welche Kant[1], G. G. Schmidt[2], G. F. Parrot[3], Miltenberg[4], F. Förster[5] und ich selbst[6] früher zusammengestellt haben. Inzwischen sind hauptsächlich erst in dem jetzigen, etwas weniger in dem nächstvorhergehenden Jahrzehend, eine sehr groſse Menge neuer oder verbesserter Höhenbestimmungen der Mehrzahl nach in den Zeitschriften zerstreut bekannt geworden, so daſs es bei noch fortgehenden Bemühungen dieser Art bald sehr wohl möglich seyn wird, barometrische Nivellements fast aller bekannten Länder der Erde aus ihnen zusammenzustellen. Die neuesten Ta-

1 Physische Geographie. Hamb. 1817. II Tom. 8. II. 2. S. 109.

2 Handbuch der Naturlehre Gieſsen 1813. II. 672.

3 Grundriſs der theoretischen Physik. Riga und Leipzig 1815. III. 172.

4 Die Höhen der Erde. Frankf. 1815.

5 Einleitung in die allgemeine Erdkunde. Berl. 1818. 4. S. 50.

6 Aufangsgründe der Naturlehre. Heidelb. 1820. II. 86. ff.

bellen dieser Art, welche indeſs der Natur der Sache nach auf absolute Vollständigkeit keine Ansprüche machen, sind von HALLASCHKA [1], eine sehr reichhaltige von BAUMGARTNER[2] und in einem eigenen diesem Gegenstande gewidmeten Werke von PERROT[3]. Belehrend und zugleich interessant sind ferner die graphischen Darstellungen der Berghöhen, welche auf den sogenannten Höhen-Charten gegeben werden[4], bei der jetzt vorhandenen groſsen Fülle von Bestimmungen aber nicht füglich anders als von beschränktem Umfange seyn können.

So interessant es übrigens in mehrfacher Hinsicht ist, durch die Hülfsmittel dieser Art sofort die Höhen der verschiedenen Orte nach Verlangen kennen zu lernen, so stehen doch einer wünschenswerthen Zuverlässigkeit dieser Bestimmungen gar manche Schwierigkeiten entgegen. Abgesehen von den Mängeln solcher Messungen im Allgemeinen ist schon die Menge der in einer vollständigen Tabelle aufzunehmenden Bestimmungen übermäſsig groſs, und die Grenze nicht leicht anzugeben, welche man sich doch nothwendig stecken muſs. Auſserdem ist es für den Sammler ganz unmöglich, alle einzelne Oerter der Erde zu kennen, und da namentlich so manche Berge ganz verschiedene Namen haben, je nachdem man sie von der einen oder einer andern Seite besteigt, so ist es fast unmöglich zu vermeiden, daſs nicht einzelne Angaben doppelt vorkommen sollten. Endlich aber ist es in vielen Fällen auſserordentlich schwer, die gröſsere oder geringere Genauigkeit der verschiedenen Bestimmungen zu prüfen, und man muſs sich hierbei lediglich auf die Autorität derjenigen verlassen, von denen sie herrühren. Sehr groſse Fehler lassen sich zwar nach den gegenwärtig zu Gebote stehenden Hülfsmitteln nicht erwarten, wenn es sich aber um Oerter handelt, welche nicht weit von einander entfernt und rücksichtlich ihrer Höhe nicht sehr verschieden sind, so kann es sich leicht ereignen, daſs aus den verschiedenen Angaben Wider-

1 Handbuch der Naturlehre. Prag 1825. III. 175.

2 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande. u. s. w. Wien 1826. S. 705.

3 Tableau comparatif des hauteurs des principales Montagnes et lieux remarquables du globe cet. Par A. M. PERROT. Par. 1826.

4 Z. B. die Höhencharte von MECHEL. Berlin 1807.

Digitized by Google

sprüche, namentlich in Beziehung auf den Lauf der Flüsse und ihr Gefälle hervorgehen.

Bei den nachfolgenden Tabellen habe ich die besten mir zu Gebote stehenden Quellen benutzt, und sie so weit geprüft als dieses möglich war. Unter den Autoritäten nenne ich als die vorzüglichsten Ramond[1], Charpentir[2], Reboul[3], Gauttier[4], Delcros[5], Bertrand Roux[6], Karsten[7], v. Horner[8], v. Bohnenberger, Wild und Schübler[9], J. F. Weiss[10], Memminger[11], Martius[12], F. Parrot[13], Nöggerath[14], Schultes[15], Fallon[16], welcher theils seine eigenen Messungen, theils auch diejenigen schätzbaren Bestimmungen bekannt gemacht hat, welche ihm durch Se. Kais. Hoheit, den Erzherzog Rainer[17] mitgetheilt wurden. Eine Menge Bestimmungen der Höhen in England findet man bei Bakewell[18],

---

1 Mém. de l'Inst. IV. 14. XIV. 1. Mémoires sur la formule barométrique de la Mécanique céleste. cet. À Clermont-Ferrand. 1811. 4.

2 Mon. Cor. XXVIII. 175. Ueberhaupt finden sich in vielen Bänden dieser Zeitschrift eine Menge von Bestimmungen.

3 Ann. de Chim. et de Phys. V. 234.

4 Ebend. XVIII. 433.

5 Bibl. univ. VII und XVII. 97 u. a. a. O.

6 Description géognostique des Environs du Puy en Velay. p. 216.

7 G. XX. 193.

8 von Bohnenberger und von Lindenau Zeitschr. für Astronomie II. 469.

9 Tübinger Blätter von von Bohnenberger und von Autenrieth. a. v. Orten.

10 Südbaierns Oberfläche nach ihrer äuſsern Gestalt u. s. w. München 1820.

11 Beschreibung von Würtemberg. Stuttg. 1823.

12 Physiognomie der Pflanzen. 1824. S. 28.

13 Engelhardt und Parrot Reise in den Caucasus; desgleichen Parrot Reise in den Pyrenäen. In naturwissenschaftlichen Abhandlungen aus Dorpat. Berlin 1823. S. 189.

14 Das Gebirge im Rheinlande Westphalen. IV. 822.

15 Mon. Cor. XI. 515. Dessen Reise auf den Glockner. S. 309.

16 Mon. Cor. XII. 507. Hauptsächlich Archiv der astronomisch-trigonometrischen Vermessung der K. K. Oesterreichischen Staaten. Wien 1824.

17 Mon. Cor. XI. 307.

18 Einleitung in die Geologie. S. 267.



Digitized by Google

W. Phillips[1] und in den englischen Zeitschriften[2]; sehr viele verdanken wir dem unermüdlichen Forschungsgeiste Leopold von Buch's[3], den stärksten Antrieb zu den Höhenmessungen im Allgemeinen und den barometrischen insbesondre gaben aber die ausnehmend zahlreichen, welche A. von Humboldt[4] der gelehrten Welt von America mitgetheilt hat. Ueber die interessanten Höhen des Asiatischen Hochlandes haben unter andern die Messungen von Hogdson und Herbert, desgleichen von den Gebrüdern Gerard[5] Auskunft gegeben; eine ausnehmend groſse Menge von Höhenbestimmungen, theils eigene, theils fremde von den verschiedensten inländischen und ausländischen Gelehrten findet man in der durch Berghaus und Hoffmann herausgegebenen Zeitschrift[6], andere minder reichhaltige Quellen nicht zu erwähnen[7].

Die von mir gewählte alphabetische Form der Tabelle war zur Ersparung des Raumes nothwendig, und eben deswegen konnten auch die Quellen nicht angegeben werden. Sie hat dabei den Vortheil, daſs man jeden gesuchten Ort leicht finden kann, bringt aber den Nachtheil mit sich, daſs man keinen Ueberblick der Höhenzüge erhält, indem die Oerter, selbst aus verschiedenen Welttheilen lexicographisch neben einander stehen. Nur in einigen Fällen, wo es besonderes Interesse haben könnte,

---

1 Outlines of Mineralogy and Geology. fourth ed. 1826.

2 Z. B. Ann. of Phil. LXXII. 448. Edinb. Phil. Journ. an v. O. Edinb. Journ. of science. XVIII. 312. Phil. Mag. LXV. 467.

3 In dessen Norwegischer Reise und in Physikal. Beschreibungen der Canarischen Inseln. Berlin 1825.

4 Nivellement barométrique fait dans les régions équinoxiales du nouveau Continent. cet. 3me. Liv.

5 An Account of trigonometrical and astronomical observations cet. by Hogdson and Herbert in Asiatic Reas. XIV. Calcutta. 1822. In den folgenden Bänden ist die Reisebeschreibung der Gebrüder Gerard.

6 Hertha. Zeitschrift für Erd - Völker - und Staaten - Kunde. Stuttg. 1825 bis 1828. zusammen X Bde. Wird fortgesetzt.

7 Z. B. Annuaire présenté au Roi in mehreren Jahrg. namentlich 1823. Nouvelles annales des Voyages. z. B. 1823. Mars. Journ. des Mines. z. B. XVIII. 321. d'Aubuisson in Journ. de Phys. LXVIII. 390. Berger ebend. LXV. 27. Morozzo in Mém. de l'Acad. de Turin. IV. p. 1. ff. Renovanz und Pausner die Höhenpuncte in Sibirien. in Nouv. Ann. des Voyages. 1823. Mars. p. 353.

Digitized by Google

ist hinzugesetzt, ob der Name einen Berg, Dorf, See oder Fluſs bezeichnet, und die trigonometrisch bestimmten Höhen sind meistens durch ein beigesetztes t kenntlich gemacht; die Höhen endlich sind in Par. Fuſs vom Spiegel des Meeres an gerechnet.

| | |
|---|---|
| Aalen (am Kocher) | 1314 |
| Aar (Schweiz) | 1548 |
| Aarau | 1140 |
| Abben-See | 1721 |
| Abbensen | 221 |
| Abbeville | 74 |
| Abendberg (Schweiz) t. | 5630 |
| Abgeschütz | 7850 |
| Abtsgemünd | 1188 |
| Acaguisotla, Meierei | 2024 |
| Acapete, Dorf | 6828 |
| Achalm t. | 2180 |
| Achensee, Dorf | 2880 |
| Achtermannshöhe | 2580 |
| Acht, hohe | 2369 |
| Actopan, Dorf | 6264 |
| Adamello t. | 10950 |
| Adam's Pic (Ceilon) | 5772 |
| Adam's-Pic (bei Kandy) | 6099 |
| Adelat (Scandinav.) | 4858 |
| Adelboden t. | 4170 |
| Adelhausen | 1401 |
| Adelsberg | 2159 |
| Adexe | 923 |
| Admont | 1789 |
| Aerbach, Schloſs | 940 |
| Aermighorn t. | 8460 |
| Aeschi t. | 2700 |
| Aetna t. | 10484 |
| Age-Nuden | 4304 |
| Agordo | 1947 |
| Agua-Manza | 3821 |
| Aguimez | 947 |
| Ahlberg | 1304 |
| Ahrenberg, Basaltkuppe | 1972 |
| Ahrweiler | 272 |
| Aidat, Dorf | 2627 |
| Aiguille d'Argentier | 12464 |
| Aiguilles de Baulmes | 4814 |
| Aiguille de Goutte | 11442 |
| — Dru | 11682 |
| — du Midi | 12054 |
| — Noire | 9744 |
| Airolo | 3502 |
| Aix | 498 |
| Akka-Solki | 3186 |
| Ala, Dorf | 3154 |
| Alagna, Dorf | 3637 |
| Alais | 431 |
| Alaska, Pic | 7050 |
| Alausi, Stadt | 7488 |
| Albacete | 2046 |
| Albengo Monte | 4398 |
| Alberca de Pelangeo | 5530 |
| Albergharia velha | 413 |
| Albis Hochwacht | 2581 |
| Albon | 6294 |
| Albrechtsdorf | 528 |
| Albristhorn t. | 8530 |
| Albujarras | 8700 |
| Albula Scheideck | 1185 |
| Alcobaça, praça | 299 |
| Alcula de Henarez | 2228 |
| Aldingen | 2039 |
| Allarmont | 1052 |
| Allee blanche | 7494 |
| Alleghany, Berg. | 2826 |
| Allendorf a. d. Sorne | 951 |
| Allerheiligen b. Tübingen | 1939 |
| Allevart (Franken) | 1355 |



Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Allier, Quelle | 4383 |
| Almaguer, Stadt | 6924 |
| Almajalosjegna | 5200 |
| Almenspitze | 8086 |
| Almuradiel | 3252 |
| Almuradil | 2292 |
| Alpschelen t. | 6864 |
| Alpsteig (Steiermark) | 3297 |
| Alsbach | 343 |
| Alphthal | 3055 |
| Altai, kleine | 9120 |
| Altanka, Dorf | 4400 |
| Alt-Els | 11432 |
| Altenau | 1752 |
| Altenberg, Stadt | 2247 |
| Altenburg | 350 |
| Altenmarkt (Steiermark) | 1351 |
| Altenstein, Schloſs | 1112 |
| Altkönig | 2400 |
| Alto de las Cachones | 3510 |
| — de las Sepulturas | 8262 |
| — del Noble | 8328 |
| — del Proble | 5802 |
| — de Val certo | 3297 |
| — do Pitre | 1224 |
| Altura de S. Cornely | 2869 |
| Altwalldorf (Ungarn) | 2215 |
| Amaga | 4166 |
| Ambert, Stadt | 1678 |
| Ambin Glacier de | 10384 |
| Ambohitsmene | 10796 |
| Ameca, Dorf | 8216 |
| Amertenhorn t. | 8108 |
| Amiens | 138 |
| Amoeneburg | 1165 |
| Amstag (Schweiz) | 1579 |
| Ander St. (Graubünden) | 3042 |
| Andermatt | 4452 |
| Andex, Bad | 2288 |
| Andreasberg | 1852 |
| Andreas San | 8332 |
| Anger (in Oestreich) | 2322 |
| Angheri (Ital.) | 1242 |
| Angustura | 5051 |
| Ankogel | 8304 |
| Anna-Kirche. St. | 2041 |
| Anna, St. (Dorf in Krain) | 2843 |
| Annaberg | 1729 |
| — Stadt | 879 |
| — (in Oberschles.) | 1422 |
| Anna-Dodici | 7189 |
| Annenur (Stadt Caucas.) | 2670 |
| Anns-Hill. St. | 225 |
| Anspach | 1100 |
| Antioquia | 1680 |
| Antisana, Berg | 17958 |
| — Höhle | 14964 |
| — Meierei | 12623 |
| Antonio San de Cucuta | 1247 |
| — San (America) | 6452 |
| Aosta | 1818 |
| Apiai | 1331 |
| Aporthorn | 10213 |
| Appenzell | 2135 |
| Aranda Altode | 9540 |
| Aranjuez | 1548 |
| Ararat (Armenien) | 10800 |
| Aarau | 1140 |
| Arber | 4530 |
| Arberg | 1434 |
| Arbesan (Posthaus) | 936 |
| Arbizon, Pic | 8760 |
| Arburg-Hill | 754 |
| Arche | 5124 |
| Arequipa, Vulcan | 8392 |
| Areskuten | 4850 |
| Arete de Tablahuma | 14136 |
| Argenkogel | 7424 |
| Argenthal | 1525 |
| Argual | 894 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Argun, Silberbergw. | 2121 |
| Argunsk | 3116 |
| Ario, Dorf (America) | 5964 |
| Arjuna | 9959 |
| Arlesheim | 1062 |
| Arlon | 1856 |
| Arnoux | 2322 |
| Arnsperg, Ruhrspiegel | 560 |
| Arnstadt | 849 |
| Arollo - Zapascape | 953 |
| Arona | 720 |
| Aroyozarco, Dorf | 7776 |
| Arran - Fowddy | 2773 |
| Arré Pic, oberer | 9024 |
| — unterer | 8910 |
| Arrenig | 2636 |
| Artemise | 2823 |
| Artenara, Dorf | 3694 |
| Arucas | 2108 |
| Arve, Quelle | 3433 |
| Ascension La, Dorf | 6270 |
| Aschenberg | 1160 |
| Ascutney | 1905 |
| Asiago | 3133 |
| Asling | 1682 |
| Asperadero El. | 7896 |
| Asseburg | 757 |
| Assuai, Paſs | 14568 |
| Asten, Berg | 2536 |
| Astenberg Alt | 2385 |
| — Neu | 2519 |
| Astorga | 2436 |
| Astrakhan | 227 |
| Atalaja | 291 |
| Athos oder Monte Santo | 6360 |
| Atlas, Hochebene | 10800 |
| — Vorgebirge | 7200 |
| — Spitze | 13200 |
| Atroi, Berg | 7296 |
| Aubrig - Groſs | 5239 |
| Auerbacher Quelle | 497 |
| Auersberg (Schloſs im Würzb.) | 1693 |
| Auersberg (Schloſs in Krain) | 3186 |
| Aufhalt | 262 |
| Augsburg | 1464 |
| Augustusberg | 992 |
| Aulnay | 351 |
| Auronze | 8604 |
| Ausserardens | 6169 |
| Aussee, (Steiermark) | 2082 |
| — Stadt | 638 |
| Aussig, Elbspiegel | 372 |
| Ausspann | 1240 |
| Autane | 9029 |
| Aux | 1202 |
| Auxerre | 266 |
| Avalon | 829 |
| Avern | 668 |
| Avignon, Stadt | 85 |
| — (Jura - Berg) | 2832 |
| Avio | 476 |
| Awatscha | 9006 |
| Ax | 2300 |
| Axedge | 1645 |
| Ayavaca, Dorf | 8442 |

B.

| | |
|---|---|
| Bacharach | 266 |
| Backnang | 780 |
| Badany | 4164 |
| Baden-Baden, Quelle | 543 |
| — Schloſsberg | 1476 |
| Baden (bei Wien) | 638 |
| Badenweiler, Stadt | 1296 |
| — Schloſs | 1421 |
| Badrinath höchster Pic | 21996 |
| — niedrigster | 20369 |
| Baenzlauistock t. | 7810 |

| | |
|---|---|
| Bärenkopf, (Hessen) | 2028 |
| — (Vogesen) | 2874 |
| Baffaud, Dorf | 3612 |
| Bagborough | 800 |
| Bagneux | 375 |
| Bahlingen | 1564 |
| Baiersbronn | 1560 |
| Baigory, St. Etienne de | 499 |
| Baikal-See | 1715 |
| Baillardspitze | 2904 |
| Bairat | 7150 |
| Baireuth | 1105 |
| Balaspoor | 1375 |
| Balding | 20091 |
| Baldissero, Dorf | 1311 |
| — Berg | 1698 |
| Baldo | 6768 |
| Balgheim | 2150 |
| Ballenstedt | 539 |
| Ballon, Mont | 4220 |
| — d'Alsace | 3870 |
| — de Lure | 3492 |
| — de Servance | 3726 |
| Ballrechten | 1028 |
| Balme, Dorf | 4420 |
| Balm La | 2598 |
| Balmhorn | 11415 |
| Balmont | 1116 |
| Bamsaru, Paſs | 14494 |
| Banneza La | 2184 |
| Banio | 2098 |
| Banstead | 540 |
| Baou de Bretagne | 3252 |
| Bara-Debi | 6571 |
| Bar-le Duc | 569 |
| Baranco-Hondo | 1232 |
| Barancas de Johannes (Amer.) | 9840 |
| Barasson | 9180 |
| Barbosa | 4385 |

| | |
|---|---|
| Barcellona | 204 |
| Barcellonette (Savoyen) | 3480 |
| Barchi Col di | 4321 |
| Bardon-Hill | 800 |
| Bareaul, Hammerw. | 297 |
| Barnaby-Moor | 736 |
| Baroude, Pic | 9192 |
| Barozo, Altura de | 3780 |
| Barquisimeto | 1657 |
| Bartenheim | 759 |
| Barthelemi, St. Pic d'Appi | 7152 |
| Bartolomeo, S. (Can. Ins.) | 2591 |
| Barton-Hill | 958 |
| Baruschowitz | 676 |
| Basel, Stadt | 822 |
| — Rheinspiegel | 752 |
| Basredon, Dorf | 2802 |
| Bassano | 459 |
| Bast-Berg | 958 |
| Bastei (bei Dresden) | 856 |
| Battenderg, Warte | 1409 |
| Battok, Mount | 3235 |
| Bautzen | 578 |
| Bayard, Mont | 3752 |
| Bayerbach | 1417 |
| Beachy-Head | 529 |
| Beacons of Brecknock | 2685 |
| Beacon-Hill | 647 |
| Béat St., Dorf | 1634 |
| Beaumont | 2341 |
| Bebra | 711 |
| Beckhur | 11894 |
| Beckingen | 1661 |
| Bedinam-brav | 2953 |
| Beeler Stösschen | 4571 |
| Beerenberg (Insel Mayen) | 6840 |
| Beeston Castle | 522 |
| Beggingen | 1662 |
| Begnins | 1707 |
| Beidara, Stadt | 7110 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Beina-on-vir | 2316 |
| Belchen | 4313 |
| Belfort | 1080 |
| Belinzona | 831 |
| Belki-Tigher (Sibirien) | 5643 |
| Bell | 1135 |
| Bella t. | 2398 |
| Belladonne | 9666 |
| Belle-Achat t. | 7642 |
| Bellefosse | 1921 |
| Belley | 790 |
| Bellinzona, Stadt | 723 |
| Belluno | 1281 |
| Belmont | 2570 |
| Belvedere (bei Pilnitz) | 1013 |
| Bemont | 3288 |
| Ben-Lawers | 3766 |
| Ben-Lomond | 3059 |
| Ben-Mere | 3637 |
| Ben-Newis | 4378 |
| Benasque | 7386 |
| Benavente (Spanien). | 1980 |
| Bene | 829 |
| Benito, San | 5130 |
| Benivenon | 2814 |
| Benladi | 2822 |
| Benzkirch | 2527 |
| Berapi | 12198 |
| Berar-Mont | 8090 |
| Berggieſshübel | 920 |
| Bergholz (bei Staufen) | 3165 |
| Bergun | 4302 |
| Bergut-Urch t. | 2742 |
| Berleburg, Stadt | 1342 |
| Berlin | 115 |
| Berlosnig t. | 3358 |
| Bermont od. Bemont | 2940 |
| Bern | 1792 |
| Bernau | 2832 |
| Berneck | 1224 |
| Bernhard, Groſse | 8460 |
| — — Paſs | 7476 |
| — — Hospitz | 7668 |
| — kleine, Hospitz | 6750 |
| Bernkastel | 315 |
| Bernstein, Dorf | 1948 |
| Besançon | 755 |
| Beseno | 1415 |
| Besigheim | 525 |
| Besse | 3191 |
| Betschan | 4380 |
| Bettichen | 1192 |
| Betzberg | 6212 |
| Betzdorf | 2205 |
| Beuscer, Monte | 3852 |
| Bex | 1328 |
| — Salinen | 2354 |
| Bezières | 358 |
| Bhadrai | 7038 |
| Biberach | 1652 |
| Bickenbach, Schloſs | 722 |
| Biedenkopf, Schloſs | 1136 |
| Biédoux Pic | 9396 |
| Biesnitz, klein | 806 |
| Bielenhorn t. | 8[illegible]1 |
| Bilarkenstein | 5860 |
| Bilbao | 69 |
| Bildstocker Höhe | 1267 |
| Billeta | 3498 |
| Billstein, Berg | 2000 |
| Bilstein, Stadt | 908 |
| Bingres | 1368 |
| Binsdorf | 1071 |
| Binzen | 853 |
| Birbronnen | 2253 |
| Birikulskaja | 496 |
| Birkendorf | 2432 |
| Birkenfeld | 1228 |
| Birken-Kogl t. | 8687 |
| Birs, Quelle | 2348 |

| | |
|---|---|
| Bisbino | 4144 |
| Bischoffingen | 732 |
| Bischofsheim | 564 |
| Bischweiler | 415 |
| Biscota, Alpe | 4451 |
| Bispingen | 676 |
| Bistrouv | 3849 |
| Bitz | 2765 |
| Black-Comb (Cumb.) t. | 1801 |
| Blackhouse-Height's | 2223 |
| Black-Hambleton-Dawn (Yorks.) t. | 1169 |
| Black-larg | 2710 |
| Blaitier | 7992 |
| Blankenburg | 724 |
| Blasien St. | 2369 |
| — St., Abtei | 2277 |
| Blassenberg | 5511 |
| Blattenhorn t. | 8729 |
| Blaue Berge (Jamaica) | 6828 |
| Blauen Berg | 3586 |
| Bleasdale Forest (Lancas.) t. | 1604 |
| Blechhütte (Harz) | 619 |
| Bleiberg | 2256 |
| — (Kärnth.) | 2832 |
| Blessberg, Groſse | 2791 |
| — Kleine | 2146 |
| Blössling, Berg | 4019 |
| Bloskilb | 1781 |
| Blümle-Berg | 1611 |
| Blümlis alp | 11393 |
| Blue-Ridge | 2047 |
| Bober, Quelle | 1234 |
| Bocza | 2840 |
| Bodenburg | 476 |
| Bodensee, Wasserspiegel | 1164 |
| Bodewin | 5880 |
| Bodmen t. | 2420 |
| Böllerfelden | 2863 |
| Börsel, Berg | 552 |
| Boersten | 1194 |
| Boetzberg | 3877 |
| Bötzingen | 668 |
| Boffalora | 515 |
| Bogota, Sta. Fe de | 8180 |
| Bogshal Heath | 434 |
| Bockeveld Plateau | 4980 |
| Boladore | 2664 |
| Bolca, Burgo di | 2967 |
| Bolgario Monte | 3496 |
| Boll | 2362 |
| Boll, Schwefelbad | 1288 |
| Bollendorf, Berg bei | 1150 |
| Boller, Berg | 2264 |
| Bollersberg | 2291 |
| Bollingen | 1215 |
| Bollschwell | 1021 |
| Bologna | 372 |
| Bondorf | 2625 |
| Bonn Rhein | 138 |
| Bonnamäs | 395 |
| Bonneville (Arvesp.) | 1445 |
| Bonvoisin | 6492 |
| Boppard | 236 |
| Bopser | 1478 |
| Borgomanero | 891 |
| Borkenkrug | 2396 |
| Borna | 334 |
| Bornum | 490 |
| Boscolengo | 4178 |
| Bossenheimer Berg | 652 |
| Botley Hill | 835 |
| Botton Head (Yorks.) t. | 1393 |
| Botzen | 1094 |
| Boudières | 6615 |
| Bouchel, See von | 3687 |
| Boulquera | 4990 |
| Boulsworth Hill (Lancas.) t. | 1585 |
| Bous, Pic | 15425 |
| Bow-Fell t. | 2735 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Bow - Hill | 659 |
| Bradfield Point (Yorks.) t. | 1169 |
| Bradley Knoll (Sommers.) t. | 913 |
| Bräunli t. | 6619 |
| Bragança | 2502 |
| Braico - urch t. | 3358 |
| Brandberg | 1295 |
| Brandenberg | 2391 |
| Brandenmark Berg | 531 |
| Brandhey (Harz) | 1812 |
| Brand - Joch t. | 7423 |
| Brassus | 3208 |
| Brauncaire (Frankr.) | 78 |
| Braunenberg bei Aalen | 2182 |
| Braunlage | 1697 |
| Braunschweig | 292 |
| Braunsdorfer - Berg | 510 |
| Breisach Alt- | 728 |
| Breitenau | 3173 |
| Breitenberg | 2331 |
| Breithorn t. | 11691 |
| Breitlaue t. | 6463 |
| Brelo, Berg | 1467 |
| Brenden | 2774 |
| Brenin Fawr. (Pembrokes.) t. | 1206 |
| Brenner, Posthaus | 4374 |
| Brenner, Paſs darüber | 4114 |
| Brennkogel | 9000 |
| Breslau | 400 |
| Bresse La | 1938 |
| Bressair | 3840 |
| Brest | 108 |
| Bretzweil | 1913 |
| Breuil (Alpendorf) | 6177 |
| Breven | 7836 |
| Briançon | 4026 |
| Brieg | 419 |
| Briegels, Dorf | 4050 |
| Bright ling Down | 606 |
| Brixen | 1903 |
| Broadlaw | 2632 |
| Broadway Beacon (Glocesters.) t. | 1019 |
| Brocken | 3633 |
| Brockenkrug | 2452 |
| Brogau, Wirthshaus | 2732 |
| Brogen, Dorf | 2732 |
| Bronveau | 646 |
| Broson | 8262 |
| Broterode | 1708 |
| Brown Clee Hill t. | 1694 |
| Brown Willy (Cornw.) t. | 1284 |
| Brozzo, Dorf | 2546 |
| Bruchberg | 2739 |
| Brucheca | 3856 |
| Bruck, a. d. Muhr | 1393 |
| Brückenberg, Dorf | 2293 |
| Brünig, Paſs | 3196 |
| Brüssel | 262 |
| Brüx | 628 |
| Schloſsberg bei Brüx, (Böhmen) | 1192 |
| Bruménil | 948 |
| Brumpt | 446 |
| Brunate | 2256 |
| Brunnecken | 2610 |
| Brunnholz | 2941 |
| Brunone - Monte | 9426 |
| Bruyères | 1488 |
| Bryg | 2114 |
| Bubenberg | 1772 |
| Bubendorf, Bad | 1141 |
| Bucharische Steppe | 1116 |
| Buchau | 2065 |
| Buchberg | 638 |
| Buchberg, Schlesien | 2410 |
| Buchenhübel (Sudeten) | 2540 |
| Buchhalde, Berg t. | 2679 |
| Buchholz | 1919 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Buchstein (Schelterwald) | 1787 |
| Buchtorma | 808 |
| Buckhill | 2229 |
| Buckow Groſs | 379 |
| Budislau | 6886 |
| Budissin | 669 |
| Budosch | 9000 |
| Budrai (Badrai) | 7040 |
| Budweis | 1152 |
| Bühlhubel t. | 3630 |
| Bühnert, Berg | 238 |
| Buenavista, Berg | 5010 |
| Bündihorn t. | 7832 |
| Bürgelen, Probstei | 2083 |
| Büsletenhorn t. | 10563 |
| Büsson | 810 |
| Buet | 9468 |
| Buga, Stadt | 2994 |
| Bugarach | 3903 |
| Buggenried | 2779 |
| Buitrago | 3126 |
| Bukhtarminsk, Fort | 840 |
| Bulle, Stadt | 2400 |
| Bunzlau | 737 |
| Buoch | 1583 |
| Burendo-Paſs | 14235 |
| Burgbühl (Obernheim) | 3002 |
| Burgfelden | 2820 |
| Burgos | 2694 |
| Burkardsrode | 779 |
| Burtigni | 2266 |
| Busca | 1290 |
| Bussen | 2364 |
| Buster Hill (Hamps.) t. | 860 |
| Buticas | 1519 |
| Butserhill | 859 |
| Butte de Sers | 5111 |
| Buttenhausen | 1881 |
| Butterton Hill (Devons.) t. | 1129 |
| Buxweiler | 677 |
| Bwlch Mawr (Caernarvons.) t. | 1570 |
| Bykle | 1684 |
| **C.** | |
| Cabezo di Maria | 5964 |
| Cabo do Mondego | 656 |
| Cacadogne | 5562 |
| Cader Ferwyn (Merionets.) t. | 2405 |
| Cader-Idris t. | 2734 |
| Cäniſfluhe t. | 6284 |
| Caermorthen-Vau t. | 2436 |
| Cairgorm | 3798 |
| Cairnſerg | 1968 |
| Cairn-Kinnow | 1951 |
| Cala, Dörfchen | 4665 |
| Calaboro, Stadt | 564 |
| Calais | 36 |
| Calbega | 5255 |
| Caldas | 459 |
| Caldera, (Canar. Inseln) | 2257 |
| Calf Hill t. | 2053 |
| Callado de Plata | 4170 |
| Callao | 20 |
| Calmot | 6054 |
| Calpi, Dorf | 9726 |
| Calvagione | 5356 |
| Camanacoa, Stadt | 624 |
| Camaron, Berg | 1218 |
| Cambridge (America) | 210 |
| Camentz | 683 |
| Cameragh-Riedge | 2026 |
| Campiam | 2106 |
| Campodolcino | 3338 |
| Canald | 354 |
| Canazei | 4582 |
| Canigou | 8562 |
| Cannstadt | 588 |
| Canoas | 2145 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Canoscie | 714 |
| Cantal | 5713 |
| Capac-Urcu | 16380 |
| Capatsch, Alpe | 7058 |
| Capellante (Brecknoks.) t. | 2246 |
| Capellen, Dorf (Oestr.) | 2047 |
| Capel Kynon (Caernarvons.) t. | 981 |
| Capo d'Istria. t. | 4198 |
| Capo di Terstenik. t. | 3815 |
| Capula, Pächterei | 6450 |
| Capuzin | 4552 |
| Caquesa (Amer.) | 5757 |
| Caracas | 2496 |
| — Silla de | 8100 |
| Carnedd-Flewellyn | 3252 |
| Carfuſs | 4847 |
| Cariaco, Stadt | 30 |
| Cariben | 177 |
| Caripe | 2472 |
| Carlos S. (Amer.) | 511 |
| Carmel | 2064 |
| Carnedd David t. | 3215 |
| Carnedd Llewellyn t. | 3255 |
| Carnero Monte | 8432 |
| Carolina (America) | 5581 |
| Carolina la (Spanien) | 1700 |
| Carpio, Dorf | 7080 |
| Carraton Hill t. | 1133 |
| Cartago | 169 |
| Carthago, Stadt (America) | 2964 |
| Cartres | 738 |
| Carralhos | 637 |
| Casaccia | 4614 |
| Casal | 235 |
| Cascas, Dorf | 4110 |
| Cassel (Hessen) | 483 |
| Cassine del Uomo | 6722 |
| Castanheira | 75 |
| Castarella | 2842 |
| Castelas (bei Marseille) t. | 2371 |
| Castellamonte, Stadt | 1153 |
| Castellaun | 1224 |
| Castle King | 827 |
| Casueletta | 2696 |
| Cat-Law | 2123 |
| Catlenburg | 373 |
| Catocache | 15420 |
| Catuaro, Dorf | 1134 |
| Cavarère | 6906 |
| Cawsand Beacon (Devons.) t. | 1681 |
| Caxamarca | 8792 |
| Cayambe | 18168 |
| Cembra | 1816 |
| Cenis Mont | 11058 |
| — Paſs daselbst | 6363 |
| Cerajon de Martas | 4620 |
| Ceramede Monte | 5110 |
| Cerf | 1010 |
| Cergue | 3212 |
| Cermetta Collo della | 3958 |
| Cerny Brain Mountain t. | 1742 |
| Cero, Dorf. | 2282 |
| Cerra de St. Pallonia | 9192 |
| Cerro Axusco | 11310 |
| Cerro de Cocollar | 2448 |
| Cerro de la Cruce | 9882 |
| Cerro de la Giganto | 4619 |
| Cerro de Macultepée | 4734 |
| Cerro de Sitzan | 11622 |
| Cerro de Xolucar | 2502 |
| Cerro pelado | 1894 |
| Cerro ventoso | 8772 |
| Certa del Porta Chuelo | 5736 |
| Certon | 1815 |
| Cervello (Corsica) | 5622 |
| Cervin (Mont Chervin) | 7438 |
| Chabauspitze | 2658 |
| Chaberton t. | 9624 |

| | |
|---|---|
| Chabrières | 9093 |
| Chahorra | 9276 |
| Chaillot petit | 7379 |
| Chaillot de Vieux | 10224 |
| Chalanges | 8200 |
| Chalet Gobet, Paſs | 2665 |
| Chalons sur Marne | 338 |
| Chamalièves (Loires.) | 1555 |
| Chambery | 822 |
| Chambon, Dorf | 2750 |
| Chamechande | 6437 |
| Chamouni, Priorei | 3144 |
| Champagny | 1164 |
| Champeleon | 6437 |
| Champleon Puy | 7545 |
| Champs du Feu | 3320 |
| Chamvens | 3696 |
| Chanctonburg-Ring | 764 |
| Chandpur | 8033 |
| Changrezhing, Dorf | 11730 |
| Chantouzet | 4378 |
| Chapelle de Vassivières | 4016 |
| Chapoltepec, Meierei | 6432 |
| Charance | 4799 |
| Charang, Paſs | 16578 |
| — Dorf | 11260 |
| Charang-Kama, Paſs | 11823 |
| Charbres | 4618 |
| Charo, Stadt | 5868 |
| Charvey Mont | 2376 |
| Charwendelspitzen | 7322<br>7306 |
| Chasserale | 4666 |
| Chasseron | 4957 |
| Chasna, Dorf | 4013 |
| Chastreix | 3257 |
| Chateau de Murat le Quayre | 3212 |
| Chateau de Bousson | 1270 |
| Chatellon | 522 |
| Chatillon | 1653 |
| Chatrat, Dorf | 2887 |
| Chaumes Les | 3984 |
| Chaumont | 432 |
| Chaux, Schlucht von | 2586 |
| Chaver Praça | 1153 |
| Chaveli | 967 |
| Cheirkumim, Quelle | 4717 |
| Chenaletta | 8418 |
| Cheviot Hill t. | 2494 |
| Chiavasso | 716 |
| Chiavenna | 1080 |
| Chilpansingo, Stadt | 4280 |
| Chimboraço, Spitze | 20148 |
| — beob. Ort | 18330 |
| Chinama | 1812 |
| Chingasa, Capelle | 10128 |
| Chiquinquira | 8020 |
| Chiracibery | 6454 |
| Chironico, Dorf | 2521 |
| Chocs, Alpe. (Karpath.) | 4915 |
| Cholsum, Gebirge | 6231 |
| Cholula, Stadt | 6480 |
| Chongba, Paſs | 11106 |
| Chonzin Ben | 2740 |
| Choor | 9910 |
| Chrenoisspitze | 3090 |
| Chrischona | 1591 |
| Christianenberg (Böhmen) | 1414 |
| Christo (Stancho) | 2653 |
| Christoval San | 5558 |
| Christophsthal | 1970 |
| Chur | 1836 |
| Chur, Berg (Ostind.) | 11394 |
| Chur (Himlaya) | 11044 |
| Cicon Mont | 3012 |
| Cima del Craste | 7664 |
| Cime del Impossibile | 1782 |
| Cima de Toringa | 5484 |
| Cima di Doccia | 4138 |
| Cima di Vernina | 3914 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Cima Dodici t. | 7189 |
| Cimone Monte | 6645 |
| Cinapecuaro, Dorf | 5808 |
| Citlaltepetl oder Pico de Orizaba t. | 16302 |
| Clamard | 417 |
| Claude St. | 1383 |
| Clause (an der Steier) | 1534 |
| Cleave Dawn (Glowsters.) t. | 1064 |
| Clermont Ferrand | 1262 |
| Cleugh Ben | 2269 |
| Clidi (Leros) | 1012 |
| Clifton | 541 |
| Climont | 2049 |
| Clivesberg | 419 |
| Clumseugh | 2063 |
| Clusette, Paſs | 3696 |
| Coburg, Schloſs | 1583 |
| Cochila (Sciros) | 2429 |
| Cöln (Rhein) | 130 |
| Cofre de Pérote | 12588 |
| Coimbra | 281 |
| Coinin-berg oder Monte Cavallo t. | 2458 |
| Coire, Stadt | 1824 |
| Colbert | 2472 |
| Col d'Aubergnan | 7824 |
| Col de Balme | 6748 |
| Col de Bonhomme | 7530 |
| Col de Braun (bei Nizza) | 3013 |
| Col de Braun (Tyrol) | 4727 |
| Col de Brois | 2518 |
| Col de Cabre | 5202 |
| Col de Cermetta | 3888 |
| Col de Fenètres | 6953 |
| Col de Forclaz | 4668 |
| Col de Geant | 10578 |
| Col de la Coche | 6437 |
| Col de Lagnet | 9986 |
| Col de la Mer | 9990 |
| Col de Lanière | 9990 |
| Col de la Seigne | 7578 |
| Col de Maleutra | 5113 |
| Col de Menté | 4238 |
| Col de Noyer | 5091 |
| Col d'Ournon | 2549 |
| Col de Praclos | 5938 |
| Col de Saix | 10338 |
| Col de Seigne | 7578 |
| Col de Servières | 7182 |
| Col de Siclaire | 9093 |
| Col de Siolane | 9069 |
| Col de Souffle | 9744 |
| Col de Tende | 5526 |
| Col de Terret | 7146 |
| Col de Tressere | 5326 |
| Col de Turbat | 9957 |
| Col di Barchi | 4322 |
| Col di Four | 8376 |
| Col du Braun | 3013 |
| Col du Brois | 2520 |
| Col du Galibier | 8593 |
| Col d'Urtis | 5664 |
| Col Grande (Kärnthen) | 4979 |
| Collado de Plata | 4170 |
| Colleda | 654 |
| Collenberg | 1285 |
| Collier Saw (Durham) t. | 1574 |
| Colmar, Stadt | 577 |
| Colmar, Berg | 1080 |
| Colombier | 4453 |
| Colombier Grand | 5200 |
| Col Tarat | 7146 |
| Combin | 13252 |
| Comer See | 772 |
| Comi | 1050 |
| Condeira | 393 |
| Confinale t. | 10392 |
| Coniston Fell (Lancas.) t. | 2418 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Constanz | 1182 |
| Conteaux, Berg | 9618 |
| Contraviesa | 8700 |
| Contreras | 1830 |
| Corail | 1612 |
| Corasson | 14988 |
| Corbon | 2886 |
| Corcovado (Brasil.) | 1970 |
| Cordes, Dorf | 2754 |
| Cordoba | 748 |
| Corley | 695 |
| Cornée la | 3512 |
| Corneille, Berg | 2331 |
| Corno di Canzo t. | 4230 |
| Corona La (Canar.) | 1837 |
| Corravilliers | 1428 |
| Cortina | 3775 |
| Costa bona | 7578 |
| Coste Loupet | 7470 |
| Côte de Delme | 1142 |
| Cotopaxi | 17712 |
| Cottbus | 262 |
| Courlarde | 5076 |
| Courroux | 2466 |
| Court | 2029 |
| Courtelain | 2136 |
| Crabère | 8124 |
| Crabicules Pic de | 9900 |
| Cradle Mountain t. | 2388 |
| Crammont | 8424 |
| Cravanche | 1260 |
| Crespadore, Dorf | 1171 |
| Cret de Chalem | 3414 |
| Cret de la Goutte | 4992 |
| Cret de Locle | 3185 |
| Cret Moniot | 3312 |
| Cristol St. | 2526 |
| Croag-Patrik | 2500 |
| Crodo | 1650 |
| Croisée de Gimel | 3370 |
| Cronau, Dorf | 2457 |
| Crontite | 1956 |
| Croſs-Fell t. | 2726 |
| Crouagh | 3179 |
| Crowborough-Beaçon | 754 |
| Cruce di Muraglia | 2108 |
| Crustolo | 4044 |
| Csuk t. | 2305 |
| Chuchilla de Guandisava | 9948 |
| Cuença | 8097 |
| Cuernavaca, Stadt | 5100 |
| Cueva | 4580 |
| Cuevas, Dorf | 6018 |
| Culmberg (Vogtland) | 2270 |
| Cumana, Hafen | 18 |
| Cumanacon | 624 |
| Cumbe, Dorf | 8508 |
| Cumbre de Mulhazein | 11081 |
| Cunnersdorf | 702 |
| Cuptana | 9546 |
| Czerwa-Gora | 4800 |

D.

| | |
|---|---|
| Daba, Hochgebirge | 14004 |
| Dachberg | 9350 |
| Dachsehen | 2164 |
| Dachstein bei Hallstadt | 9036 |
| Dadelishorn t. | 7651 |
| Daeumel | 5959 |
| Dammersfeld | 3640 |
| Dankar, Fort | 7542 |
| Dannenfels (Donnersb.) | 1147 |
| Danzewelle-Kopf t. | 9675 |
| Darmstadt | 341 |
| Darney | 756 |
| Datmar | 7838 |
| Dattenreit | 1129 |
| Daubitz, Dorf | 394 |
| Dauphin Mont | 2772 |
| Davos, Dorf | 4824 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Davos, Scheidecke | 5046 |
| Déan Hill | 506 |
| Dehra | 2223 |
| Deilinger, Berg | 3127 |
| Deilingen | 2570 |
| Deiry Ben | 3329 |
| De la Cote | 2706 |
| Delémont | 1386 |
| Delle oder Dattenreit | 1128 |
| Delme Côte de | 1142 |
| Delnize | 2295 |
| Delphi (Scopoli) | 2155 |
| Delwig, Ruhrspiegel | 340 |
| Denize, Berg | 2712 |
| Denklingen | 820 |
| Dent de Morcle | 9156 |
| Dent d'Oches | 6789 |
| Dent de Vaulion | 4572 |
| Dent Parrassée | 11388 |
| Dent du Midi | 9805 |
| Dent Hill (Cumberl.) t. | 1046 |
| Des Bois - Capelle | 3360 |
| Descabezado | 20000 |
| Descheck | 3271 |
| Dessau | 116 |
| Dettenhäuser Höhe | 1640 |
| Deva - Prayaga, Stadt | 2126 |
| Devez le, Berg | 4387 |
| Deutsch - Peter | 2219 |
| Dezeln | 1160 |
| D'haibun | 23214 |
| Dhawalagiri[1] | 26340 |
| Dhawalagiri | 24166 |
| Dholagir | 23999 |
| Dianenberg (Helena) | 2692 |
| Dienstberg | 1472 |
| Diessenhofen (Rhein) | 1189 |
| Dieuze | 619 |
| Diey Saint | 1062 |
| Dijon | 856 |
| Dillingen | 1262 |
| Dillinger Berg | 1412 |
| Dinario | 7000 |
| Dinkelshäuserberg | 1095 |
| Disentis, Abtei | 3549 |
| Ditchling Beacon | 805 |
| Diumbier Alpe | 6170 |
| Dobratsch (Kärnthen) | 7375 |
| Dobritz Groſs | 443 |
| Dodeinaz | 12571 |
| Doeblen | 563 |
| Dörenberg bei Osnabrück | 1096 |
| Dörfle, Altglashütte | 3056 |
| Dogne, Quelle der | 5212 |
| Dohna | 425 |
| Doldenhorn. t. | 11182 |
| Dole Mont | 5176 |
| Dollaburn | 2663 |
| Dolmar | 2403 |
| Dolzig | 348 |
| Domo d'Ossola | 1017 |
| Donau (bei Sigmaringen) | 1692 |
| Donaueschingen | 2124 |
| Donauwerth | 1053 |
| Done, Berg | 2544 |
| Donnersberg bei Trier. t. | 2090 |
| Donnersberg. (Böhmen) | 2513 |
| Donnersberg (Böhmen) | 2064 |
| Donnon | 3230 |
| Donnon - Grand, | 3138 |
| Dornach, Schloſs | 1494 |
| Dornborner Kopf | 2083 |
| Dortmund | 440 |
| Dossen | 5196 |
| Dossoledo, Dorf | 3853 |
| Dottingen | 2329 |

1 Nach Perrot in Nivellement Barom.

| | |
|---|---|
| Doub, Quelle | 2856 |
| Dovre | 1454 |
| Dovrefield, Paſs nach Drontheim | 4285 |
| Drachenfels (Dürkheim) | 1767 |
| Drachenkopf am Rhein | 1010 |
| Draskirchen | 544 |
| Drau, Quelle | 3680 |
| Drebkau | 308 |
| Dreiherrenstein | 2191 |
| Dreispitz t. | 7790 |
| Dreisselberg | 3798 |
| Dreistelz | 2092 |
| Dresden, Stadt | 306 |
| Drettenhorn t. | 8629 |
| Dronatz | 9005 |
| Drouveyre | 6437 |
| Dschamautre | 23925 |
| Dschawehir | 24156 |
| Dubrowino, Spiegel des Obi | 189 |
| Dümpelfeld | 655 |
| Dündenhorn. t. | 8730 |
| Düngelfeld | 855 |
| Düngenheim | 1420 |
| Dünkirchen | 28 |
| Dürande la, Berg | 3985 |
| Dürrheim | 2150 |
| Dürrwangen | 1810 |
| Düsseldorf (Rhein) | 120 |
| Duida | 7938 |
| Dundroigh | 1968 |
| Dunkery Beacon (Sommers.) t. | 1565 |
| Dunnose | 743 |
| Durlberg | 5586 |
| Duttweiler | 677 |
| Dwggan (Brecknoks.) t. | 1943 |
| Dyhrnfurt | 338 |

## E.

| | |
|---|---|
| Ebernburg | 693 |
| Ebersberg (Harz) | 2028 |
| Ebersdorf (Grafsch. Reuss) | 1590 |
| Ebingen t. | 2167 |
| Ebnet | 1001 |
| Echatz, Quelle | 1790 |
| Echlerdingen | 1300 |
| Echternach | 484 |
| Eclüse Fort | 1262 |
| Edelmannskopf | 2659 |
| Edelsberg t. | 5002 |
| Edelschrot, Berg | 2529 |
| Ederquelle | 1877 |
| Eger | 1389 |
| Eggischwand t. | 3627 |
| Egmont (Neuseeland) | 14370 |
| Egna Col de | 6624 |
| Egnard St. | 4145 |
| Ehingen | 1576 |
| Ehrenbreitstein | 509 |
| Ehrenfriedersdorf | 1652 |
| Eibenberg | 4776 |
| Eichelberg (Harz) | 1638 |
| Eichelberg bei Rothenfels (Schwaben) | 1634 |
| Eichelspitze | 1607 |
| Eierhauk | 2416 |
| Eiger t. | 12216 |
| Eimeldingen | 822 |
| Einkorn, Berg (Schwaben) | 1399 |
| Einsiedeln | 2850 |
| Eisenach | 635 |
| Eisenbach | 3201 |
| Eisenerz (Oestr.) | 2083 |
| Eisleben | 279 |
| Eitersberg | 1551 |
| Elbebrun | 4374 |
| Elberfeld | 425 |
| Elbersweiler | 927 |

Digitized by Google

| | | | |
|---|---|---|---|
| Elbingerode | 1414 | Erbach | 632 |
| Elbrus | 17388 | Ereslids, Ebene | 5471 |
| El Coral de Almaguer | 2160 | Erfurt | 585 |
| Elend | 1380 | Erlangen | 997 |
| Elias (Ipsara) | 1678 | Erlebrück | 2920 |
| Elias (Mykone) | 1222 | Erneralda | 1062 |
| Elias (Santorin) | 1808 | Erndtebrück, Dorf | 1550 |
| Elias (Tenedos) | 591 | Erndthalden | 1641 |
| Elias (Zea) | 1745 | Ernstberg | 2080 |
| Eliasberg (Amer.) | 16974 | Ert-berg t. | 2481 |
| Eliasberg (Milo) | 3400 | Erwitte, Dorf | 339 |
| Eliasberg (Nordam.) t. | 16758 | Erzberg (Oestr.) | 4693 |
| Eliasberg (Paros) | 2361 | Erzeck t. | 6762 |
| Eliasbrunn | 1978 | Erzkasten | 3982 |
| Elm | 3055 | Eschholzmatt | 2675 |
| Elmau | 2683 | Escorial | 3408 |
| Elmstein | 693 | Escoubous, See | 6313 |
| Elwangen, Schloſs | 1331 | Eselshöhe | 1600 |
| Elzach | 1206 | Esmeralda | 1062 |
| Emishard | 2186 | Espadan Pico de | 3394 |
| Emmeldingen | 829 | Esperanza (Canar. Ins) | 2563 |
| Emmendingen | 626 | Esperou, Dorf | 3716 |
| Encero Alto de | 2[illegible]76 | Espinasse | 3251 |
| Ender-Mättingen | 1604 | Espitalette | 4489 |
| Endingen | 582 | Essenberg | 1305 |
| Enego | 2540 | Esslingen | 703 |
| Engelberg | 3185 | Estables, Dorf | 4161 |
| Engelhorn t. | 8769 | Estanzia de las Vacas | 8669 |
| Engelsberg bei Olpe | 1799 | Estobon | 1638 |
| Engststadt | 1580 | Estrella | 5305 |
| Engstingen Groſs- | 2112 | Etang | 2508 |
| Engstlen t. | 5723 | Etoges | 449 |
| Engstlingen t. | 6001 | Ettrick-Pen | 2092 |
| Ennabeuren | 2406 | Ettlingen | 375 |
| Enontekis | 1341 | Eula | 730 |
| Ensisheim | 677 | Eulenstein (Harz) | 1302 |
| Entlibuch, Schloſs | 2240 | Evillers-Geländes | 2832 |
| Envie | 903 | Eyafields-Yökul | 5394 |
| Epomeo | 2364 | Ezel | 6554 |



Digitized by Google

F.

| | |
|---|---|
| Fähnern, Alpe | 4676 |
| Fälkniſs | 7825 |
| Fahid | 2313 |
| Fahlen, Dorf | 2697 |
| Fairlight Down | 562 |
| Fairwether (Nordam.) | 13824 |
| Falkenberge | 2037 |
| Falkenberg, Stadt | 240 |
| Falkenstein | 1020 |
| Fallerhorn | 7863 |
| Fanaserberg | 6338 |
| Faraux | 7542 |
| Fargusone | 4910 |
| Farnleiten | 3316 |
| Farnsberg | 2358 |
| Farrenberg | 2537 |
| Farrenkapf | 2335 |
| Fastenberg | 2861 |
| Faucille | 4093 |
| Faugerolle -l'Eglise | 914 |
| Faulhorn t. | 82[illegible]0 |
| Faulkogel | 8100 |
| Fauverge | 2976 |
| Faxefield | 4002 |
| Fechinger-Berg | 1070 |
| Feistelberg | 1258 |
| Fekenberg | 2651 |
| Feldberg gr. bei Frankf. | 2606 |
| — kleiner | 2379 |
| Feldberg, Dorf, (Schwarzw.) | 1159 |
| Feldberg t. (Schwarzw.) | 4597 |
| Feldberg-See | 3417 |
| Feldsee | 3401 |
| Feldstädten | 2405 |
| Felipe San | 5892 |
| Fellbach | 874 |
| Fell-Horn t. | 5388 |
| Felsberg | 1578 |
| Felshorn t. | 8600 |

| | |
|---|---|
| Felſs Pfarrthurm t. | 1926 |
| Feltre | 971 |
| Fenatz | 2274 |
| Fenisberg | 4716 |
| Ferenberg | 2651 |
| Ferner, Groſse | 7650 |
| Feuerbacher Heide | 1208 |
| Feuerkogl | 4812 |
| Feuerstädter Berg t. | 5054 |
| Fibia | 8382 |
| Fichtelberg | 3421 |
| Fieudo | 8268 |
| Filisur, Dorf | 3198 |
| Finestra | 6618 |
| Finestre, Dorf | 2830 |
| Finndals Brücke | 2008 |
| Finsterahorn t. | 13205 |
| Finstermünz (Oestr.) | 2808 |
| First t. | 7878 |
| Fisistock t. | 8148 |
| Fiume | 22 |
| Fix, Dorf | 3440 |
| Fizer t. | 7850 |
| Flachau | 2590 |
| Fläscherberg | 3134 |
| Flaunsen, Groſse | 8708 |
| Flinsberger Bad | 1542 |
| Flirsch, Pfarrthurm t. | 3534 |
| Flitscher, Klause | 1455 |
| — Schloſs | 2013 |
| Florenz | 255 |
| Florenzberg | 1205 |
| Fluberig | 6335 |
| Fogstue | 2880 |
| Fohren | 1215 |
| Fohrenbühl | 2293 |
| Folgaria, Plateau | 3786 |
| Folgaria, Stadt | 3811 |
| — Berg | 4291 |
| Folgefond, Gletscher t. | 4973 |

| | |
|---|---|
| Folie La | 4035 |
| Foligno | 559 |
| Fontainebleau | 406 |
| Fontana Mora, Dorf | 2337 |
| Fontargante, Pic de | 8682 |
| Fontclairan, Dorf | 2942 |
| Forbach (bei Christophthal) | 1970 |
| Formazza | 3817 |
| — Alpe de | 5820 |
| — Glacier de | 8180 |
| Formico | 4854 |
| Formonaz | 5659 |
| Forst | 3751 |
| Foudai | 1212 |
| Fougères | 3224 |
| Fouillouse | 5700 |
| Fourcanade, Pic | 9414 |
| Fraile | 14232 |
| Framont | 1266 |
| Frankensteiner Höhe | 1300 |
| Frankenstein (Hardtgeb.) | 724 |
| — Schloſs | 1090 |
| Frankfurt a. M. | 228 |
| — a. d. O. | 116 |
| Frankovich | 968 |
| Franzensbad | 1417 |
| Frastenzer Sandberg t. | 5010 |
| Frau t., Bergspitze | 10896 |
| Frauenberg, (Hessen) | 1241 |
| Frauenberg (Rhön) | 1118 |
| Frauenkogel | 5431 |
| Frau Hüt t. | 6492 |
| Fraukogel | 7043 |
| Freiberg | 1146 |
| Freiburg | 871 |
| Freisingen | 1096 |
| Frenkendorf | 1030 |
| Fresmillo, Quelle | 3336 |
| Freudenstadt | 2175 |
| Friedberg, Stadt in Steierm. | 1755 |
| Friedrichsfelde | 148 |
| Friesensteine | 2888 |
| Frischbrunnen, Dörfchen | 2281 |
| Frölſen | 1696 |
| Frutingen t. | 2127 |
| Frutigen, Dorf | 2534 |
| Fuenta de la Cuchilla | 4842 |
| Fürkli-Scheideck | 7251 |
| Fürth | 578 |
| Füſsen | 2455 |
| Fulda | 838 |
| Fundl-Kopf t. | 7371 |
| Furca (Paſs) | 7788 |
| Furca di Betta | 8106 |
| Furca di Bosca | 7213 |
| Furtwangen | 2691 |
| Fusagasuga, Dorf | 5640 |
| **G.** | |
| Gabel (Böhmen) | 750 |
| Gablenz | 445 |
| Gaderiolhorn | 8725 |
| Gadmen t. | 3707 |
| Gadria-Berg | 9036 |
| Gänsehals (am Rhein) | 1587 |
| Gaggenau | 433 |
| Gahma | 1839 |
| Gais (Schweiz) | 2938 |
| Galanda | 8360 |
| Galfinstein | 1597 |
| Galiegos Los | 8292 |
| Gallen St. | 2086 |
| Gallenstok | 11323 |
| Gams (Schweiz) | 1413 |
| Gamshaag | 6570 |
| Gandersheim | 397 |
| Gandstock | 6985 |
| Gangautri | 9684 |
| Ganges, Quelle | 12141 |
| Gangtang, Paſs | 17167 |

| | |
|---|---|
| Gans (am Rhein) | 947 |
| Gant-Kosel t. | 5725 |
| Gap | 2306 |
| Garandie, Dorf | 3155 |
| Garde d'Eycenac | 2969 |
| Gardon, Quelle d. | 2877 |
| Gariach | 2814 |
| Gario | 11028 |
| Gasave, Meierei | 7392 |
| Gascas Alto de | 5448 |
| Gasterenholz t. | 4153 |
| Gastein (Oestreich) | 6298 |
| Gaube, See | 5492 |
| Gavarnie | 4438 |
| Gavernu | 7182 |
| Geba | 2442 |
| Gebrannte Stein | 2682 |
| Gede | 8611 |
| Gefrees | 1697 |
| Geiersberg (b. Aschaffenb.) | 1900 |
| Geisberg (Salzburg) | 3852 |
| Geisberg (bei Heidelberg) | 1120 |
| Geisfluh (bei Oltingen) | 2961 |
| Geishöhe | 1670 |
| Geishorn höchst. Punct t. | 6900 |
| Geiſsberg (Schwarzw.) | 2179 |
| Geiſselstein | 2185 |
| Geiſslingen | 1220 |
| Gellihorn t. | 6980 |
| Geltsch | 2018 |
| Gelterkinden | 1228 |
| Gemmi, Paſs | 6985 |
| Gempenfluh | 2331 |
| Genestous, Dorf | 2937 |
| Genevre, Mont | 5960 |
| Genf | 1252 |
| Genfer-See | 1150 |
| Gengenbach | 567 |
| Genkingen | 2400 |
| Gennaro | 3924 |
| George St. | 2902 |
| Geradmer | 2046 |
| Gerberstein | 2147 |
| Gerbier de Jones | 4811 |
| Gerbizon | 3231 |
| Gerihorn t. | 6593 |
| Gerloswand | 6621 |
| Gerlosstein, Alpe | 5811 |
| Germada-berg t. | 2076 |
| Geronimo San | 2247 |
| Gersbach | 2497 |
| Gerstenhorn t. | 10037 |
| Gerwyn Goch t. | 1617 |
| Geseke, Stadt | 340 |
| Geyrenspitze | 7824 |
| Geyerskopf | 8500 |
| Gex | 1874 |
| Ghuhsul, Paſs | 14873 |
| Giandola | 871 |
| Gibraltar, Felsen | 1400 |
| Giesleflue | 2383 |
| Gieſsen | 437 |
| Giſhorn, Allerspiegel | 203 |
| Gilmshügel | 1601 |
| Gilotepec | 7830 |
| Gilserts-berg t. | 7694 |
| Gimbreter Höhe | 862 |
| Gimpel-berg t. | 6872 |
| Ginesio, Monte St. | 2663 |
| Giornico, Schloſs | 1236 |
| Giramena | 664 |
| Girecour | 1068 |
| Giri, Quelle | 6944 |
| Giromagny | 1440 |
| Gittelde | 613 |
| Glarus | 1491 |
| Glaserberg | 2777 |
| Glaswaldsee | 2592 |
| Glatz (Böhmen) | 847 |
| Gleichberg, Groſse | 2241 |

| | |
|---|---|
| Gleichberg, Kleine | 2116 |
| Gleierspitze t. | 6000 |
| Glems | 1108 |
| Glère | 7176 |
| Glockner Groſs - | 11982 |
| — Ochsenhütte daselbst | 6625 |
| Glocknitz | 1324 |
| Glockthurm t. | 10294 |
| Gloe Ben | 3493 |
| Glöckt Hohe | 5827 |
| Glogau | 212 |
| Glungeser-berg, t. | 8216 |
| Glurns (Oestreich) | 2586 |
| Gmainig t. | 2097 |
| Gmündt (Oestreich) | 2114 |
| Gmunden (ebend.) | 1566 |
| Goar St. | 249 |
| Goatfield | 2762 |
| Goby | 3300 |
| Godeno nördlich | 7428 |
| — südlich | 6714 |
| Göritz | 1502 |
| Göhl Hohe | 7812 |
| Gölling | 1430 |
| Gönningen | 1632 |
| Gönzheim | 287 |
| Görlitz | 660 |
| Görz | 246 |
| Göttingen | 412 |
| Goldberg (Schlesien) | 631 |
| Goldberg (bei Urmund) | 1920 |
| Goldberg (Oestreich) | 8233 |
| Goldenstein (Böhmen) | 1946 |
| Golderenhorn t. | 5948 |
| Golegam | 112 |
| Golling (Oestreich) | 1319 |
| Gondelsheim | 1483 |
| Gonzanama, Dorf | 6438 |
| Gordona | 4344 |
| Goslar | 700 |
| Gotha | 878 |
| Gottesberg, Stadt | 1729 |
| Gotthard t. | 8587 |
| — Hospitz | 6440 |
| Gounong-Pasaman | 12732 |
| Gousta | 6080 |
| Gozzano | 1050 |
| Grabenstädten | 2260 |
| Gradiaberg | 9036 |
| Graditzberg | 1255 |
| Grätz | 1206 |
| Grafenhausen | 2684 |
| Graieck | 1857 |
| Granada, Hochebene | 2180 |
| Grande Replan | 3222 |
| Grand Mont | 3222 |
| Grangeberg | 4368 |
| Granter Mont | 5917 |
| Grasmere-Fell | 2590 |
| Grassenberg | 8381 |
| Grassoney, Schloſs | 4138 |
| Gray-Stock | 8816 |
| Greene | 362 |
| Greenwich, Observ. | 100 |
| Greialper Höhe | 6177 |
| Greiner | 6554 |
| Grenier | 5968 |
| Grenoble | 746 |
| Grenzacher Horn | 1157 |
| Gressonay | 4254 |
| Grevenmachern, Mosel | 392 |
| Gridone di Spoccia | 6666 |
| — — Brisago | 6744 |
| Gries, Fuſssteig | 7338 |
| Griesbach | 1501 |
| Griesberg, Paſs | 7338 |
| Grieshorn | 9460 |
| Grigna, Monte della t. | 7428 |
| Grigos, Montanno de | 8000 |
| Grijo | 1434 |

Grimma 398
Grimming 1877
Grimsel 9104
Grimsel, Hospital 5757
— Paſs 6638
Grindelwald t. 3507
Gringley 332
Gripliun 12000
Grödner Joch 6508
Groſse Rad 4707
Groſsenhain 324
Groſse Teich 3786
Grossingberg 6078
Groſs Rettenstein t. 6767
Groſs Schlagendorf (Ungarn) 1997
Groſswald 3554
Grubenstetten t. 2260
Grüllenburg 1155
Grün-Berg (Baireuth) 2071
Grünenplan 744
Grünlaſs, Dorf 1269
Grünwald (Schwarzwald) 2853
Grund 978
Grundlsee 2031
Grugéres, Schloſs 2482
G'schasi-Kopf 3204
Gspaltenhorn t. 10874
Guacara, Dorf 1614
Guacharo, Höhle 3036
Guachucal, Dorf 9684
Guadalaxara 2254
Guadaloupe, Solfatara 4790
Guadarama, Gebirge 8002
Guadarama, Paſs 4526
Guadarrama 3000
Guaduas 3540
Guaira La, Hafen 24
Guaiteira (St. Miguel) 2812
Guallabamba, Dorf 6888
Gualtaquillo, Dorf 3924
Guamang, Dorf 60
Guanacas, Paſs 13800
Guanaguana 1314
Guanami, Paſs 10278
Guanapalo 475
Guanaxuato 6420
Guancabamba, Dorf 6168
Guangamarca, Dorf 7506
Guarita del Paramo 10794
Guaroman 1002
Guasintlan, Dorf 3228
Guayaval El 5286
Guchilaque, Dorf 7518
Guckenberg 2637
Gümmelwald t. 4300
Günthersthal 1081
Gündelwangen 2425
Guensberry-Hill 2007
Guia 1715
Guichicovi Pueblo 802
Guimar, Vulcan (Teneriffa) 4020
Guimar 914
Guique, Dorf 1332
Guiteritz 1272
Guler 1150
Gumgrath t. 6929
Gunas, Paſs 15028
Gunong Dompo 11260
Gunong Kasambru 14075
Gurtis-Spitz t. 5457
Guscheralp 5573
Gutach (Wutach) 2308
Guttannen t. 3297
Guttenstein, Marktflecken 1404

H.

Haarte, Berg 1200
Habelschwerd 1017
Hachenburg, Schloſs 1289

| | |
|---|---|
| Hacienda de Tarifa | 810 |
| Hacienda de la Chivela | 738 |
| Hackenberg | 5860 |
| Hackenweg | 4135 |
| Haenglihorn t. | 8150 |
| Haerdler Berg | 2306 |
| Haeusern | 2713 |
| Hagen, Stadt | 340 |
| Hagenau | 443 |
| Hahnkoppe | 2295 |
| Haigerloch | 1364 |
| Halberstadt | 397 |
| Halle | 303 |
| Hallein | 1453 |
| Hallenberg | 1208 |
| Hallstadt, Oestr. | 1467 |
| Haltenfels | 2544 |
| Halver, Dorf | 1228 |
| Ham | 189 |
| Hambato | 8310 |
| Hampton Poor House | 81 |
| Hanga, Dorf | 10697 |
| Hangendhorn t. | 10166 |
| Hanger Hill | 216 |
| Hangetgletscherhorn | 10070 |
| Hango, Dorf | 10761 |
| Hangrang, Paſs | 13987 |
| Hannover | 202 |
| Happach | 2440 |
| Harcour | 136 |
| Harderberg | 452 |
| Harebacken | 4297 |
| Harol | 1296 |
| Harteng | 5224 |
| Hart-Fell | 3099 |
| Harthausen | 1270 |
| Harzburg | 640 |
| Hasenberg (Stuttg.) | 1436 |
| Hasenmatte (Jura) | 4476 |
| Hasenstiel | 1576 |
| Haspel, Berg | 1338 |
| Haſslach | 662 |
| Hathersedge (Derbys.) t. | 1293 |
| Haloviejo | 4466 |
| Hatseroe-wand | 9783 |
| Hatzfeld | 1039 |
| Hauberg | 1412 |
| Haukogel | 8964 |
| Hausach | 739 |
| Hausberg bei Butzbach | 1350 |
| Hausen (am Thann) | 2269 |
| Haut d'Honec | 4128 |
| Haut de Fresse | 2232 |
| Haut-du-Rhau | 2982 |
| Haut du Thann | 3060 |
| Haut-Pierre | 2748 |
| Hautschel | 2628 |
| Heas, Dorf | 4512 |
| Heas, Aiguillon de | 9138 |
| Heather'sedge | 1419 |
| Hechingen | 1671 |
| Hecla | 4790 |
| Hedgehope (Northumb.) t. | 2204 |
| Heidelberg in Thüringen | 1161 |
| Heidelberg, akad. Inst. | 313 |
| Heidelberg (Böhmen) | 3517 |
| Heidenheim (a. d. Brenz) | 1528 |
| Heidenkopf | 2142 |
| Heilbron | 515 |
| Heilbronner Warte | 936 |
| Heiligenblat | 4206 |
| Heiligenbrunn (Schwarz-wald) | 2049 |
| Heiligenberg (bei Heidel-berg) | 1148 |
| Heiligenstock (Harz) | 1752 |
| Heimberg (Rhön) | 1327 |
| Heimsheim | 1234 |
| Heinersdorf | 2010 |
| Heinrichsgrün | 2090 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Heinrichshöhe | 3159 |
| Heitersheim | 1036 |
| Helmsgrün | 1819 |
| Helmstedt | 429 |
| Helvellin (Cumberl.) t. | 2867 |
| Hempelsbaude | 3839 |
| Hemsdorf | 405 |
| Hensbarrow Beacon t. | 970 |
| Heppenheim | 362 |
| Herault, Quelle | 4337 |
| Herbia Groſse | 9921 |
| Herbitzheim | 647 |
| Herbrechtingen | 1416 |
| Herchenheimer Höhe | 1974 |
| Herins | 4847 |
| Herment, Stadt | 2545 |
| Hermittans, Pic | 9324 |
| Hermsdorf | 336 |
| Herrenberg | 1300 |
| Herrenwies | 2340 |
| Herrnhut | 944 |
| Herzberg (Sachs.) | 220 |
| Herzberg (am Harz) | 745 |
| Herzog Ernst | 9096 |
| Herzogenweiler | 2708 |
| Hessenberg | 1316 |
| Heuberg t. (Schweiz) | 8418 |
| Heuchelberger Warte | 930 |
| Heuscheuer (Rieseng.) | 2893 |
| Hienerspill | 8335 |
| Hierdals Gkytsgaard | 481 |
| Hierlaz (Salzburg) | 5772 |
| Heighclere | 844 |
| High Pike (Cumberl.) t. | 1971 |
| Hildesheim | 148 |
| Hillseleng | 1968 |
| Hils | 1135 |
| Hind-Head | 866 |
| Hindu-Kuh | 19230 |
| Hinteralp (Salzburg) | 5070 |
| Hinter-Sonnenwend-Joch | 6071 |
| Hircey | 2154 |
| Hirschberg, Stadt | 1092 |
| Hirschberg, Stadt (Graf. Reuſs) | 1503 |
| Hirschberg, Berg (Oestr.) | 6008 |
| Hirschegg (Steierm.) | 2147 |
| Hirschensprung (bei Karlsbad) | 1538 |
| Hirschfangsberg t. | 5847 |
| Hirschkogel | 6796 |
| Hirschstetten | 2314 |
| Hirzli | 507 |
| Hirzwald | 3063 |
| Hisselau, Dorf | 1443 |
| Hitterdals Kirke | 290 |
| Hoch-Ach (Eifel) | 2225 |
| Hochberg (Schles.) | 1930 |
| Hochblauen, Berg | 3307 |
| Hochdorf (bei Nagold) | 1752 |
| Hochederberg | 8590 |
| Hochfelden | 573 |
| Hochfilzen (Oestreich) | 2982 |
| Hochfürst | 3717 |
| Hochgadmenstock | 9525 |
| Hochgailing | 9798 |
| Hochgerach oder Apilla Spitz t. | 6027 |
| Hochhorn | 10633 |
| Hochhut | 8328 |
| Hochkopf (Schwarzw.) | 3952 |
| Hochrütti | 3943 |
| Hochsalven-berg t. | 5602 |
| Hochsat | 1397 |
| Hoch-Simmern | 1835 |
| Hochstetten, Dorf | 2382 |
| Hochstollen | 7665 |
| Hochstrassenberg t. | 6071 |
| Hoch-Tschernowand | 11645 |
| Hochvogel t. | 7948 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Hochwald (bei Sommerau) | 2985 |
| Hochwald (Schlesien) | 2699 |
| Hochwang | 6535 |
| Hockenhöhe | 1800 |
| Höchenschwand | 3126 |
| Höchst t. (Schweiz) | 5906 |
| Höcher-Berg | 1598 |
| Höhlenstein, Wirthshaus (Tyrol) | 4461 |
| Höhningen | 1119 |
| Hölle (bei Freiburg) | 2646 |
| Höllenthal (Sohle beim Posthaus) | 2038 |
| Höllkogel | 5711 |
| Hörnli (bei Reich) | 2849 |
| Hörselberg | 1621 |
| Höselberg | 1086 |
| Höxter (Wesers.) | 274 |
| Hoffingen | 2767 |
| Hofstädten | 1412 |
| Hohe-Alpelle t. | 4503 |
| Hohe Eule | 3036 |
| Hohegeiſs (Harz) | 1893 |
| Hohekopf (Gernsbach) | 2960 |
| Hohe Mense | 3242 |
| Hohenasperg | 1025 |
| — Belvedere das. | 1128 |
| Hohenberg, Dorf (Oestr.) | 1519 |
| Hohenberger Gscheid | 2502 |
| Hohenbruch (bei Schwäb. Hall) | 1699 |
| Hohenelb | 1488 |
| Hohengrün, Dorf | 1959 |
| Hohenradskopf | 2068 |
| Hohen Bechberg | 2266 |
| Hohenstaufen (Salzb.) | 5408 |
| Hohenstaufen (Würt.) t. | 2253 |
| Hohestauffen | 5520 |
| Hohen Heroldseck | 1609 |
| Hohensolms | 1360 |

| | |
|---|---|
| Hohenstein (Lausitz) | 1282 |
| Hohenstein (bei Dresden) | 867 |
| Hohenstollen t. | 7688 |
| Hohentwiel | 2150 |
| Hohenwartshöhe | 10393 |
| Hohenzollern t. | 2621 |
| Hoher-Fürst t. | 10463 |
| Hohe Thron | 7245 |
| Hohmatt t. | 6392 |
| Hoierswerda | 285 |
| Hollage | 215 |
| Hollan-Hill | 593 |
| Hollenburg, Draubrücke | 1314 |
| Hollenstein, Dorf | 1368 |
| Holm Moſs (Derbys.) t. | 1749 |
| Holzeberg (bei Zöſen) | 2301 |
| Holzminden, Wesers. | 273 |
| Homburg vor d. Höhe | 533 |
| Homburg, Schloſs | 908 |
| Homburg (Schwarzw.) | 713 |
| Homest, Berg | 2027 |
| Hommelunde | 989 |
| Honda | 1088 |
| Honrubia | 3246 |
| Horben | 1897 |
| Horgen, Schloſs | 1247 |
| Horheim | 1155 |
| Hornberg, Gutachspiegel | 1079 |
| Hornburg, Ilsespiegel | 388 |
| Hornisgrinde | 3616 |
| Horquetta La | 5568 |
| Horsterkopf | 1227 |
| Horstmar, Stadt | 346 |
| Hové | 357 |
| Hoya la, Dorf | 6432 |
| Hradeck | 431 |
| Hrasz | 1848 |
| Huancavelica | 11010 |
| Hube, Wirthsh. | 784 |
| Hube, Regenborn | 942 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Hückeswagen | 920 |
| Huehuetoca, Dorf | 7068 |
| Hühnerthalistock | 9930 |
| Hünerseddel | 2302 |
| Huertas las, Meierei | 2970 |
| Hüttau | 2058 |
| Hütliberg | 2686 |
| Hüttenbühl | 842 |
| Hüttgeswasen | 2034 |
| Hulſtegg | 3252 |
| Hukeo-Paſs | 14812 |
| Hummels | 2402 |
| Hunau, Berg | 2484 |
| Hundskopf | 2897 |
| Hundsrücken (Schwarzw.) | 3815 |
| Hundstein | 1223 |
| Hussoco | 4994 |
| Huttberg (Böhmen) | 1462 |
| Huyseburg | 917 |
| **I.** | |
| Jacal, El | 9618 |
| Jackson's Mountain höchst. | 2350 |
| — nied. | 2019 |
| Jako, Berg | 7619 |
| Jägerthal | 605 |
| Jauer (Böhmen) | 665 |
| Jauersberg | 3000 |
| Javirac | 9612 |
| Javita | 996 |
| Jaxt (bei Ellwangen) | 1346 |
| Ibach Unter- | 3015 |
| — Ober- | 3207 |
| Ibague, Stadt | 4218 |
| Ibarra, Villa de | 7104 |
| Ibbenbühren | 231 |
| Iberg | 1767 |
| Iburg | 338 |
| Ichubamba, Wasserfall | 8250 |
| Icononzo, natürl. Brücke | 2754 |
| Ictaccihuatl | 14736 |

| | |
|---|---|
| Ida | 5442 |
| Idarkopf | 2263 |
| Idria | 1448 |
| Jeconlee | 20587 |
| Jegno-Apo | 5339 |
| Jerkin | 2823 |
| Jewahir, Pic | 24156 |
| Ifinger Spitze t. | 7840 |
| Igrija de Bom Jesus | 1189 |
| Ihringen | 625 |
| Ilanz, Dorf | 2200 |
| Ildefonso San | 3846 |
| Ildefonse St. | 3550 |
| — Paſs | 5748 |
| Ilefeld | 844 |
| Ilguautla | 7969 |
| Illenitze | 2704 |
| Ilsenburg | 715 |
| Illiniza | 16302 |
| Imberg | 2122 |
| Immenrode (Weddesp) | 571 |
| Imnau | 1210 |
| Impfingen | 1507 |
| Imst, Pfarrthurm t. | 2537 |
| Incarojo | 2079 |
| Inciensal El | 7422 |
| Infernay | 9851 |
| Ingatambo, Meierei | 3342 |
| Ingbers St. | 687 |
| Ingleborough, höchster Punct | 2228 |
| Ingolstadt | 1016 |
| Inkpin Beacon t. | 949 |
| Innsbruck t. | 1766 |
| Inselsberg | 2944 |
| Interlaken | 1771 |
| Joachimsthal | 2256 |
| Joaõ Altura de San | 1117 |
| Joares Llano | 8160 |
| Joch, Paſs | 6820 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Jocelme | 13002 |
| Jochliberg | 6735 |
| Jökullſial | 3500 |
| Johann St. (Berg bei Moyenvic) | 947 |
| Johann-Georgenstadt | 2392 |
| Johannisberg (bei Aschaffenburg) | 1411 |
| Jonsbais | 2252 |
| Jordana La, Pächterei | 8028 |
| Jordana | 8233 |
| Jorullo | 4002 |
| Joug d'Aigle | 7252 |
| Jougne | 3052 |
| Joux Lac de | 3000 |
| Iris (Asien) | 412 |
| Irkutzk | 1355 |
| Irré, Pic de | 8019 |
| Ischel | 1333 |
| Isella | 1997 |
| Isenstock | 8185 |
| Iseran, Gletscher | 12455 |
| Islahuaka, Flecken | 7956 |
| Issima, Dorf | 2901 |
| Itacolumi | 5400 |
| Italitz Koi (Altai) | 10068 |
| Itambe (Brasil.) | 5590 |
| Ittlingen, Schloſs | 226 |
| Juchlisberg t. | 8094 |
| Judenbuckel (bei Weinheim) | 682 |
| Judenburg | 2268 |
| Jüterbock | 210 |
| Jughat | 3444 |
| Juifen-berg t. | 6070 |
| Jungfernstein (Sachs.) | 1269 |
| Jungfrau t. | 12850 |
| Jungfrauhorn | 12870 |
| Jupiter (Naxos) | 3124 |
| Justedahlgletscher | 5736 |
| Ivrea, Stadt | 739 |
| Jyteck | 4554 |

K.

| | |
|---|---|
| Kadelburg (Rhein) | 967 |
| Kämpfenberg | 1254 |
| Kärfenstock | 8405 |
| Käsberg | 5215 |
| Käsmark | 1050 |
| Käsmarkerspitze | 7974 |
| Kohlbacher Grat | 5269 |
| Kahlenberg (Trier) | 1324 |
| Kahlenberg (Oestreich) | 1530 |
| Kahlwang, Marktflecken | 2202 |
| Kajesk | 531 |
| Kaiserjoch t. | 9569 |
| Kaiserau, Schloſs | 3330 |
| Kaiser Ferdinandsberg | 4163 |
| Kaiserslautern | 759 |
| Kaiserstuhl (bei Freiburg) | 1733 |
| Kalinuskaja | 1104 |
| Kalisberg t. | 3364 |
| Kallenfluh (b. Waldenburg) | 3177 |
| Kallerberg | 7877 |
| Kalmanka | 364 |
| Kalmberg | 5434 |
| Kalmuk (Hardtgeb.) | 2048 |
| Kalte Herberge (bei Neukirch) | 3174 |
| Kaltenberg | 992 |
| Kaltenberg-Ferner t. | 8912 |
| Kaltenborn (am Rhein) | 1422 |
| Kamberg (Africa) | 5300 |
| Kameniak | 1660 |
| Kamerstock | 6340 |
| Kamillenberg (Coblenz) | 1165 |
| Kammkoppel | 4[illegible]94 |
| Kamor | 5437 |
| Kampffeld | 1613 |
| Kampong (Malabar) | 6213 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Kampong (Mavajon) | 2848 |
| — (Nenkellen) | 3511 |
| Kanazai | 4582 |
| Kandelberg | 3909 |
| Kandern (Schwarzw.) | 1103 |
| Kandersteg t. | 3543 |
| Kanoom, Dorf | 8443 |
| Kanzensteig | 3845 |
| Kapellenberg (bei Reinlich) | 1043 |
| Karlisberg | 6030 |
| Karlovitz t. | 2361 |
| Karlsbad höchst. Punct | 1248 |
| Karlsbad | 1176 |
| — Sprudel | 1161 |
| Karlsberg Riesengeb. | 2542 |
| Karlshafen, Wesers. | 291 |
| Karlshöhen | 292 |
| Karlsruhe | 380 |
| Karlstein (Schwarzw.) | 3012 |
| Karstberg | 1486 |
| Kasan | 580 |
| Kasbeck | 14400 |
| Kaschino | 372 |
| Kaschiev | 312 |
| Kascaiva | 4500 |
| Kastelberg | 1368 |
| Kasten Hohe | 5540 |
| Katharinen-Linde | 1349 |
| Katschberger Paſs | 4895 |
| Katscher Paſs | 4896 |
| Katzbach, Quelle bei Ketschdorf | 1388 |
| Katzenbuckel (Odenwald) | 1880 |
| Katzenstein (Schwarzw.) | 1695 |
| Kaulberg (Harz) | 1572 |
| Kaulsdorf | 128 |
| Kautokamo | 784 |
| Kedar-Kama | 11906 |
| Kedarnath, Tempel | 11246 |
| Kelleberg | 996 |
| Kellberg | 2098 |
| — Dorf | 1476 |
| Kellenberg | 3521 |
| Kempel (od. Zeires) | 5218 |
| Kempten | 2064 |
| Kennfuſs | 1196 |
| Kergen, Dorf (Caucasus) | 5646 |
| Kerki (Samos) | 4497 |
| Kesselberg | 4368 |
| Kéubrang, Paſs | 17184 |
| Khair-Kumin, Quelle | 4662 |
| Kholzure (Sibir.) | 6473 |
| Kiachta | 2400 |
| Kierringfiall | 2704 |
| Kifhäuser | 1458 |
| Kilhope Law (Durham) t. | 2060 |
| Kill | 854 |
| Killington | 3239 |
| Kindersteg (Schweiz) | 4535 |
| Kings-Arbour | 111 |
| Kinzig Klein- | 2360 |
| Kinzig Kulm | 6370 |
| Kirchberg, Dorf | 1366 |
| Kirchspitze (bei Marb.) | 1039 |
| Kirn | 529 |
| Kirnberg | 1586 |
| Kislowodskaja | 2464 |
| Kistenberg | 10398 |
| Kit Hill (Cornw.) t. | 1001 |
| Kittisvara | 300 |
| Kitzelberg | 2033 |
| Klachau | 2412 |
| Klackberg | 4168 |
| Klagenfurt | 1375 |
| Klappersteine | 3456 |
| Klaridenberg | 10073 |
| Klein-Kreutz-Spitz t. | 7738 |
| Kleitschberg | 1508 |
| Klek | 6500 |
| Klinge, Weg darüber | 1841 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Klitten | 473 |
| Kloachnabane | 2223 |
| Kmelen Groſs- | 258 |
| Kniebis, Paſs | 2560 |
| Kniepersspitze | 4825 |
| Knok-Mele-Down | 2532 |
| Koatshill (America) | 3329 |
| Koburg | 876 |
| Köben | 230 |
| Königsberg (Hessen) | 1176 |
| — (Rhein) | 1666 |
| Königsborn, Saline | 225 |
| Königsbron (a. d. Brenz) | 1542 |
| Königshain Ober- | 865 |
| — Schloſs | 750 |
| Königslutter | 549 |
| Königstein (Sachsen) | 1120 |
| Königstein (bei Frankf.) | 1191 |
| Königstein (bei Ober Ursel) | 2600 |
| Königsstraſse (Carpathen) | 2244 |
| Königstuhl (bei Heidelb.) | 1752 |
| Königs Wand t. | 11871 |
| Kötherberg | 1552 |
| Köttenstein | 6796 |
| Kohlberg (Lohmener) | 757 |
| Kohlberg (Ottewalder) | 748 |
| Kohlstädten, Dorf | 2187 |
| Kokusberg t. | 2046 |
| Kolbsheim | 572 |
| Koluwanskoy | 1392 |
| Kolywan Hammerwerk | 1345 |
| Komharsen | 5427 |
| Kommotau | 953 |
| Kongma, Paſs | 15020 |
| Kongsvold | 2760 |
| Kopenhagen | 82 |
| Koppe am Main | 1475 |
| Korgonskoe, Dorf | 1844 |
| Korgonskoy | 1913 |
| Koritta | 1676 |
| Korkogel | 5827 |
| Korkotjokko | 4400 |
| Kornbühl t. | 2732 |
| Koschenberg | 489 |
| Kosel | 510 |
| Kosorkze | 1039 |
| Kothbach-Spitze t. | 7904 |
| Krähenbach, Jägerhaus | 2690 |
| Kraimburg | 1177 |
| Krakau | 669 |
| Krappitz | 444 |
| Krasnoiarsk | 490 |
| Krasnojarskoi | 684 |
| Krasnoretschinskoe | 504 |
| Kraubat | 1705 |
| Krautskainpaſs | 6704 |
| Krehberg (Odenwald) | 1650 |
| Kreineck | 1006 |
| Kreuzberg (Hessen) | 2800 |
| Kreuzberg (zwischen Venedig und Tyrol) | 5102 |
| Kreuzberg (Franken) | 1962 |
| Kreuzberg (Sachsen) | 2996 |
| Kreuzberg (Schweiz) | 5860 |
| Kreuzburg (Schles.) | 651 |
| Kreuzjoch | 7646 |
| Kreuznach | 315 |
| Kreuznach (Hardt) | 970 |
| Kreuzspitz Klein | 7738 |
| Kreuzstein, Dorf (Baireuth) | 1501 |
| Krieglach, Dorf | 1614 |
| Kriepenstein | 5721 |
| Krippenstein | 6002 |
| Krol | 15915 |
| Kroneberg | 5190 |
| Krozingen Nieder- | 740 |
| Kyrwan Groſs- | 7538 |
| Kschees (Caucasus) | 5370 |
| Kubani (Böhmen) | 4219 |
| Kublis | 2448 |

| | |
|---|---|
| Künzelsau | 674 |
| Kürnberg | 1531 |
| Küssenberg, Ruine | 1964 |
| Küstelberg, Dorf | 2064 |
| — Schloſs | 2442 |
| Kützen | 7795 |
| Kuhstall | 970 |
| Kuksberg | 1098 |
| Kukurazza | 4680 |
| Kulm | 691 |
| Kulmer Berg | 1294 |
| Kumen-berg t. | 2039 |
| Kupferberg (Breisgau) | 2600 |
| Kupferberg (Schlesien) | 1580 |
| Kupferberg (Böhmen) | 1330 |
| Kupfersuhl | 818 |
| Kurinskaja | 665 |
| Kurja | 672 |
| Kutschenberg | 552 |
| Kynast | 1812 |
| Kynsivara | 607 |
| **L.** | |
| Labach-spitz t. | 9503 |
| Lac de la Fraix | 2956 |
| Lachamp, Dorf | 3035 |
| Lacher See | 850 |
| Lachna (Olymp) | 6120 |
| La Costa | 5154 |
| Ladrillos los | 14412 |
| Ladstadt | 3297 |
| Lägerberg | 3589 |
| Lagaves | 2599 |
| Lago Como | 655 |
| Lago Maggiore | 761 |
| Lagorei-berg t. | 8040 |
| Laguièze, Dorf | 3484 |
| Lahn (bei Marb.) | 606 |
| Lahnquelle | 1720 |
| Lahnberg | 1197 |
| Lahnberg (Riesengeb.) | 4513 |
| Lahr | 509 |
| Lairo | 3008 |
| Laken, Dorf | 2455 |
| Lakh, Dorf | 12104 |
| Lamark | 660 |
| Lamba-Thath | 9692 |
| Lamerhorn t. | 9380 |
| Lampertsloch | 606 |
| Landeck, Bad | 1408 |
| Landoz | 4393 |
| Landser | 791 |
| Landshut (in Schles.) | 1234 |
| Laudshuter Berg (Schles.) | 2233 |
| Landskrone (bei Görlitz) | 1304 |
| Landskrone (am Rhein) | 1663 |
| Landskrone, Belvedere | 1321 |
| Landwehrgrund, Stadt | 288 |
| Langeck | 2678 |
| Langenau | 2124 |
| Langenbrück (Schweiz) | 2251 |
| Langenfeld, Dorf (Krain) | 1099 |
| Langensalza | 744 |
| Langensteinbach | 861 |
| Langgescheid | 2344 |
| Langogné | 2759 |
| Langres | 1368 |
| Langsee | 7029 |
| Lanoux, Pic de | 8796 |
| Lanzo | 1625 |
| La Pata Creuse | 9186 |
| Larba, Mont | 3792 |
| Larsda | 2160 |
| Lasenberg | 764 |
| Laser Spitz | 7885 |
| Lassosse, Dorf | 1916 |
| Latschberg | 2904 |
| Lauba, Elbspiegel | 387 |
| Laubach | 1448 |
| Lauban | 577 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Lauberstock t. | 7708 |
| Lauerz, See | 1382 |
| Laufelfingen | 1711 |
| Laufersweiler | 1341 |
| Lauffenburg (Rhein) | 888 |
| Laumont | 2364 |
| Laurang | 11880 |
| Laurang (Cottische Alp.) | 6157 |
| Lausanice | 9096 |
| Lausanne | 1533 |
| Lautaret | 6449 |
| Lautenbach | 1308 |
| Lauterbach (Schwarzw.) | 1841 |
| Lauterbrunnen t. | 2503 |
| Lautscheberg | 2309 |
| Lavaron, Dorf | 3786 |
| Lavers, Ben- | 3766 |
| Leybach | 1286 |
| Leberberg | 3726 |
| Lecheria, See | 7242 |
| Legnoncino | 5325 |
| Legnone | 8070 |
| Legnone, Monte t. | 8640 |
| Lehbach | 687 |
| Leipzig | 306 |
| Leiria | 225 |
| Leith-Hill | 932 |
| Leitmeritz, Elbsp. | 405 |
| Leitskamm | 6450 |
| Lence, Montagne de la | 4110 |
| Lennep | 1038 |
| Lenzkircher Hütte | 4025 |
| Leoben | 1568 |
| Leobschütz | 918 |
| Leonberger Warte | 1408 |
| Leonhart St. | 2134 |
| Leopoldsberg | 1290 |
| Leopoldstein, See | 1863 |
| Lerchenhügel | 2142 |
| Lerma | 2664 |
| Lerma, Rio de | 8046 |
| Lessard, Dorf | 3430 |
| Leutmeritz | 353 |
| Leuk, Bad | 4337 |
| Leubus | 282 |
| Leugelstock | 5314 |
| Libanon, Spitze | 8946 |
| Lichtenberg | 1278 |
| Lichtenbrunn | 1727 |
| Lichtenstein, Schloſs | 2540 |
| Lichtenow | 141 |
| Liconcio t. | 10221 |
| Liddes | 4194 |
| Liebau | 1493 |
| Liebenstein, Bad | 1017 |
| — Altes Schloſs | 1472 |
| Lie, Berg | 1387 |
| Liebkowitz | 1330 |
| Liegnitz | 365 |
| Lietzen | 1892 |
| Lieou, See | 6196 |
| Lilienstein | 1183 |
| Lima | 534 |
| Limburg (Schwarzw.) | 857 |
| Limon | 2948 |
| Limpach | 766 |
| Lind (a. d. Ahr) | 1475 |
| Lindau | 2967 |
| Lindau t. (im Bodensee) | 1196 |
| Lindenberg (bei Lahr) | 878 |
| Lindenbuck | 2770 |
| Linz | 689 |
| Lippivara | 1800 |
| Lissatz t. | 2882 |
| Lisser | 5134 |
| Livres | 919 |
| Llactacunga | 8882 |
| Llandinan Mountain t. | 1781 |
| Llanelian Mountain t. | 1041 |
| Llangeinor Mountain t. | 1744 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Llanitos Los | 8665 |
| Llano de la Venta de Chicapa | 342 |
| Llano de Tetrinpa | 7404 |
| Llano de Verdecuchu | 13044 |
| — de Altarcuchu | 13536 |
| Lobau | 630 |
| Lobenstein | 1405 |
| Lobenstein, Schloſsberg | 1644 |
| Lobhorn t. | 7915 |
| Locarno (Schweiz) | 708 |
| Lochenhof | 2702 |
| Lochenstein | 2980 |
| Löffingen | 2478 |
| Lörrach | 922 |
| Löwen (Stadt in Schles.) | 480 |
| Löwenberg (am Rhein) | 1434 |
| Löwenberg (Stdt. in Schles.) | 775 |
| Löwenberger Hof (Rhein) | 1110 |
| Löwenkopf (Cap) | 2166 |
| Löwenstein, Jagdhaus | 1657 |
| Lohacker | 2367 |
| Lohmen | 522 |
| Lohnsfeld | 836 |
| Loibl, Paſs | 4030 |
| Loire, Quelle | 4312 |
| Lomijauer-See | 2123 |
| Lomnitzer Spitze | 8100 |
| Longirad | 2793 |
| London | 162 |
| Long Mountain (Montgomerys.) t. | 1248 |
| Long Mount Forest (Shrops.) t. | 1571 |
| Lonrms-Eggen | 6245 |
| Lons le Saulnier | 730 |
| Loosdorf | 925 |
| Loosehoe (Yorks.) t. | 1317 |
| Lorch (Schwaben) | 879 |
| Lord's Seat (Yorks.) t. | 1609 |
| Lorenzone | 4110 |
| Loucyra | 3548 |
| Loupilon | 13260 |
| Lourdes | 1264 |
| Lowositz | 440 |
| Lowthershill | 2365 |
| Loxa, Stadt | 6300 |
| Lubine | 1430 |
| Luboehna | 1289 |
| Lubst, Quelle | 578 |
| Lucendro-Spitze | 9739 |
| Lucern | 1320 |
| Lucia S. (Canar.) | 2109 |
| Lucia, Monte St. | 4791 |
| Lübben | 196 |
| Lübens | 1091 |
| Lücelle, Abtei | 1836 |
| Lücira | 13545 |
| Lüneville | 651 |
| Lützelhausen | 1457 |
| Lützel, Dorf | 1734 |
| Lützerath | 1250 |
| Ludwigsburg | 890 |
| Lugano, See | 874 |
| Luklum | 501 |
| Lulumbaba, S. Antonio de, Dorf | 7650 |
| Lung, Paſs | 6654 |
| Lungern | 2145 |
| Luntz, Dorf | 1926 |
| Lust, Dorf | 1116 |
| Lustenau t. | 1231 |
| Lutter, am Barenberge | 611 |
| Luxeuil | 942 |
| Luxenburg | 966 |
| Luz | 2340 |
| Lyon | 476 |
| **M.** | |
| Maca, Dorf | 1702 |
| Macaluba | 150 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Macgilli-cuddy's Reeks | 3193 |
| Maclusfelsen | 3018 |
| Maçon | 462 |
| Maconao (Margarethen-Insel) | 2052 |
| Madelaine | 4500 |
| Madera, Berg | 4842 |
| Madrid | 2012 |
| Mädele, Spitze | 8000 |
| Maenlichich t. | 7270 |
| Maerenhorn t. | 9039 |
| Märgen St. | 2801 |
| Magadino, Dorf | 709 |
| Magdalena la, Dorf | 4140 |
| Magdeburg (Elbe) | 128 |
| Maigrischan t. | 2554 |
| Mailand | 394 |
| Maiquetti, Dorf | 108 |
| Maissur, Hochebene | 2400 |
| Maladetta | 10192 |
| Mala Voda | 2244 |
| Malborghetto | 2118 |
| Malhao del Serro | 8000 |
| Mali Ivan | 1023 |
| Malixerberg | 7537 |
| Malmedy | 2050 |
| Maloi Kemtschug | 1056 |
| Maloja, Scheidecke | 5652 |
| Mals (Oesterreich) | 3105 |
| Malsch | 492 |
| Malvern Hills t. | 1355 |
| Mamanchota, Hochebene | 8826 |
| Mancha Blanca | 758 |
| Mannelstein | 2467 |
| Manerang, Paſs | 17464 |
| Manes, Dorf | 11166 |
| Mangerton | 2349 |
| Manheim | 258 |
| Manhoué | 524 |
| Mani-Maira | 1145 |
| Mannskopf | 2822 |
| Manosque | 1200 |
| Manten | 2214 |
| Mantes | 75 |
| Manzanares | 1934 |
| Maquibor (America) | 1056 |
| Maracay (America) | 1337 |
| Marang, Stadt | 7976 |
| Maravatio, Dorf | 6300 |
| Marayal | 547 |
| Marbach | 1330 |
| Marboré, Tour de la | 9354 |
| Marboré | 10260 |
| Marburg, Schloſs | 951 |
| Marcchairu Col de | 4498 |
| Marchand Grand | 3186 |
| Marcello St. (Italien) | 1875 |
| Maria Sta. (Schweiz) | 5609 |
| Mariahülf | 2496 |
| Mariazell | 2455 |
| Marienbad (Böhmen) | 1863 |
| Marienberg (Sachsen) | 1863 |
| Marienberg, Stadt | 1903 |
| Marine, Berg | 4278 |
| Marinilla | 6356 |
| Markirchen | 1190 |
| Marksuhl | 707 |
| Marseille Observ. | 144 |
| Marsizzo | 6774 |
| Martin St. | 2364 |
| Martin St., Schloſs | 2107 |
| Martin St., Dorf (Thal Aosta) | 1073 |
| Marzialo, Altures de | 673 |
| Masatlan, Dorf | 3912 |
| Maschairn | 5386 |
| Martigny | 1466 |
| Masveaux | 1242 |
| Mataro | 162 |
| Matheo St. (Canar.) | 2406 |



Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Matias Don- | 6582 |
| Mauchen | 1855 |
| Maurice St. | 1772 |
| Maurin | 5855 |
| Mauro Mont St. | 4727 |
| Mave, Berg | 10014 |
| Maven | 670 |
| Mawna Koah (O-Whyhee) | 13080 |
| Mawna-Roah (O-Whyhee) | 14894 |
| Mawna-Wororay (O-Whyhee) | 10122 |
| Mayen (Schweiz) | 3160 |
| Maypures, Dorf | 558 |
| Meal-Fourvoung | 2879 |
| Mealhades | 193 |
| Meaux | 135 |
| Medellin | 4549 |
| Medina del Campo | 1980 |
| Medvreza (Ungarn) | 2732 |
| Meffersdorf | 1336 |
| Megamendon | 4548 |
| Meggiserhorn t. | 6812 |
| Meglisalpe | 4667 |
| Mehlis, Dorf | 1373 |
| Meinungen | 831 |
| Meisner | 2481 |
| Meisperach | 1170 |
| Meiſsen | 258 |
| Melans (Schweiz) | 1800 |
| Melderskyn | 4558 |
| Meleitschaya, Dorf | 1188 |
| Melibocus t. | 1677 |
| Me-Lin | 7692 |
| Melischauer | 2645 |
| Melkerrikopf | 3155 |
| Melnischnoi | 996 |
| Melone Rocca | 10752 |
| Melon Roche | 10855 |

| | |
|---|---|
| Melun | 216 |
| Memmingen | 1884 |
| Mengibar (Quadalquivir) | 542 |
| Meran (Tyrol) | 896 |
| Menil-Montant | 210 |
| Mercuriusberg (gr. Staufenberg) | 2072 |
| Merida (Amer.) | 4961 |
| Merzig | 497 |
| Merzla Vodice | 2374 |
| Mescala, Dorf | 1590 |
| Mesenille, Dorf | 1893 |
| Mesmer Hohe | 6680 |
| Metelicha | 223 |
| Metma | 2578 |
| Metz | 452 |
| Metzingen | 1092 |
| Meudon | 567 |
| Meyringen | 1751 |
| Mexico | 7008 |
| Mezen, Montagne de | 5460 |
| Mezenc | 5400 |
| Mezene | 4508 |
| Mezières | 775 |
| Miage-Gletscher | 6456 |
| Miaune | 3317 |
| Michael St. (Oestr.) | 3141 |
| Michel St. | 2035 |
| Michelsberg | 1170 |
| Michelsberg (Bruchsal) t. | 796 |
| Micuipampa | 10896 |
| Micuipampa, Paſs | 5400 |
| Middelburg | 76 |
| Midtskoug | 2000 |
| Miguel San. el Soldado, Dorf | 5406 |
| Mijoux | 3146 |
| Mikola | 1158 |
| Miltenberg (Main) | 398 |
| Millwood-Fell | 1876 |

| | |
|---|---|
| Milzeburg | 2516 |
| Mimet t. | 2328 |
| Mina de Animas | 6828 |
| Mina de Mellado | 7026 |
| Mina de Rayas | 6696 |
| Mina de Vallalpando | 7892 |
| Mina de la Valenciana | 7164 |
| Minaya | 2244 |
| Minchmoor-Hill | 1876 |
| Minden, Wesers. | 88 |
| Minksdorf | 2382 |
| Miraflores de la Sierra | 3732 |
| Miranda del Ebro | 1416 |
| Mirandella | 637 |
| Mirebel, Chateau de | 2159 |
| Mirois le | 2958 |
| Miru (Mirting), Dorf | 8023 |
| Miserenberg | 6995 |
| Mismo | 3570 |
| Mittaghorn t. | 7221 |
| Mittagshorn | 11679 |
| Mittagskogel (Kärnthen) | 6462 |
| Mittagsplatte | 4245 |
| Mittagsspitze t. | 6433 |
| Mittelberg (Rieseng.) | 3666 |
| Mitterdorf | 2326 |
| Mittersill | 2461 |
| Mittlekopf | 8520 |
| Modena | 201 |
| Möhlin | 1486 |
| Möhrm, hohe | 3017 |
| Moel-Ellio | 2371 |
| — Fammau t. | 1731 |
| — Issa t. | 973 |
| — Morwith t. | 1658 |
| Mönch t. | 12663 |
| Möringen | 1340 |
| Moesenbron | 881 |
| Moessingen | 1434 |
| Möttingen Unter- | 1535 |
| Moja (Canar. Ins.) | 1338 |
| Môle | 5748 |
| Mohrenkopf (Trier) | 1275 |
| Molkenberg | 2884 |
| Monaco | 1658 |
| Monadnoc | 3051 |
| Moncal, Pic de | 10008 |
| Mondalindo | 5622 |
| Mondberg | 7396 |
| Monderone, Dorf | 3783 |
| Mondragon | 660 |
| Monetier de Mauray | 7564 |
| Monpox, Stadt | 396 |
| Mont St. | 2094 |
| Montabaurer Höhe? | 1403 |
| Montagne de l'Ours | 6563 |
| Montagne de l'Oursine | 5585 |
| Montaigü | 7155 |
| Montalon | 2762 |
| Montals | 4218 |
| Montanna de Paraguay | 8838 |
| Montaña del Fuego (Lancerote) | 1471 |
| Montau, Meierei | 8040 |
| Montanvert, Hospitz | 5724 |
| Mont-Barre | 1428 |
| Mont-Blanc | 14800 |
| Mont-Cervin | 13860 |
| — Paſs darüber | 10284 |
| Mont de beau temps (America) | 14004 |
| Mont de Lyre | 5478 |
| Mont d'Ore, Pay de Sancy t. | 5831 |
| Mont de St. Cyr | 1996 |
| Mont du Chat | 4980 |
| Monte-Baldo t. | 6762 |
| Monte-Bondon t. | 6702 |
| Monte-Bouscer | 3810 |
| Monte Cacume- | 3285 |

| | |
|---|---|
| Monte - Calvo | 4800 |
| Monte - Capreo | 4480 |
| Monte - Caren t. | 6012 |
| Monte - Cavo | 2920 |
| Monte - Corno del Frerone t. | 8226 |
| Monte - Croce | 5102 |
| Monte della disgrazie t. | 11316 |
| Monte della Sybilla | 7038 |
| Monte de Treconfiño | 3860 |
| Monte di Fato | 3192 |
| Monte di Madonia | 3528 |
| Monte d'Oro | 8163 |
| Monte - Figo | 1876 |
| Monte - Gazza t. | 6408 |
| Monte generoso t. | 5356 |
| Monte - Grabri t. | 2836 |
| Monte grosso | 6888 |
| Monte Jovet t. | 7848 |
| Monte Maggiore t. | 4291 |
| Monte Maro | 10005 |
| Montendre | 5178 |
| Monte - Osserò (auf der Insel Rossini) | 1794 |
| Monte Primo | 4914 |
| Monte Schiena di Asino | 4537 |
| Monte - Pasubio t. | 6886 |
| Mont Erix | 3654 |
| Monte rotondo | 8225 |
| Monte Santo (Athos) | 6360 |
| Monte Selva piana t. | 2966 |
| Monte Sissol t. | 2560 |
| Monte Sizzog t. | 6721 |
| Monte - Skanupia t. | 6561 |
| Monte S. Primo | 5214 |
| Monte Sus (auf d. Insel Cherso) t. | 1962 |
| Monte Viso | 11808 |
| Montferrat | 2559 |
| Mont Genevre, Dorf daselbst | 5574 |
| Mont Grenier t. | 5916 |
| Mont Louis | 4986 |
| Mont Martre | 460 |
| Montmirail | 514 |
| Montoset | 5100 |
| Montoulieu, Pic de | 8928 |
| Mont Perdu | 10310 |
| — — See | 7882 |
| Montredon | 2245 |
| Montredon, Schloſs | 2728 |
| Montrivel | 2376 |
| Mont Rosa | 14222 |
| Montrouge | 303 |
| Montserre | 2790 |
| Mont terrible | 2442 |
| Mont tourné | 10098 |
| Montrachat | 3998 |
| Mont Venne | 2094 |
| Mont Vergy | 7038 |
| Monvallier Pic de | 8730 |
| Monzelfeld | 1403 |
| Moosberg | 1586 |
| Mooswald | 2670 |
| Moral El | 6390 |
| Morales | 426 |
| More, Ben | 3628 |
| Morgan Dawn t. | 1031 |
| Morgenberg t. | 6967 |
| Morgenberghorn | 6990 |
| Moritz, Dorf | 5676 |
| Morlac | 732 |
| Morni, Fort | 1982 |
| Morteaux | 2172 |
| Mortigny | 1374 |
| Moschelandsberg, Schloſs | 969 |
| Moschelandsberg | 997 |
| Moscow | 840 |
| Mosel, Quelle | 2232 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Mosset | 7416 |
| Mossingen | 1480 |
| Mottaronte | 4633 |
| Motte La | 3570 |
| Motestton Down | 655 |
| Mounaux, Dorf | 3509 |
| Mounné | 3905 |
| Mourne-Hill | 2345 |
| Mow Capt (Chess.) t. | 1024 |
| Mowee | 8067 |
| Moyrans | 1916 |
| Mozingen | 1658 |
| Mucklea | 8544 |
| Müant de Bellone | 10218 |
| — Höchster Gipfel | 12990 |
| Müggelsberg bei Köpenik | 342 |
| Mühlbach, Egerspieg. | 1414 |
| Mühlbach, Dorf | 1447 |
| Mühlberg, Dorf | 229 |
| Mühlbergen, Glashütte | 929 |
| Muela de Arres | 7074 |
| Müllheim | 832 |
| Müncheberg, Dorf | 210 |
| München | 1658 |
| Münchingen | 2494 |
| Münsingen | 2209 |
| Münster | 193 |
| Münster Canals. | 159 |
| Münster (Saline am Rhein) | 277 |
| Münsterberg, Stadt | 622 |
| Mürzuschlag, Marktfl. | 2090 |
| Mütte-Kopf t. | 8520 |
| Muggart | 1170 |
| Muggelsberg (Köpenik) | 343 |
| Mulada Pic | 10944 |
| Mulalo, Meierei | 9552 |
| Mulhazen Pic | 10956 |
| Mullbraxhill | 2532 |
| Mummelsee | 3186 |
| Munipampa | 10902 |
| Munten (Schweiz) | 1344 |
| Munzenberg | 2216 |
| Munzingen | 616 |
| Murch (am Einfluſs der Forbach) | 1564 |
| Murcia | 462 |
| Mure La | 2714 |
| Murliberg | 5315 |
| Muscau, Neiſsespiegel | 275 |
| Muscau | 285 |
| Musinet | 3505 |
| Mussa | 5159 |
| — Alpe della | 5464 |
| Mutlenz | 901 |
| Mutta | 1929 |
| Mutten-Joch t. | 7631 |
| Muzo | 2687 |

N.

| | |
|---|---|
| Nabon, Dorf | 8544 |
| Nachtstein | 4677 |
| Nad Mlina | 5366 |
| Naegelis grätli t. | 8608 |
| Naessen, Schloſs | 2047 |
| Nagi Fort | 8264 |
| Nago, Berg (in Tyrol) | 6395 |
| Nahan | 3009 |
| Nakle, Dorf | 11236 |
| Nako, Dorf | 11265 |
| Namaany Cooly Kandy (Ceilon) | 5206 |
| Nalgun, Paſs | 13973 |
| Nancy | 608 |
| Nanganeo, Dorf | 6475 |
| Nanos-Berg t. | 3988 |
| Nantes | 75 |
| Narbonne | 204 |
| Nassefeld | 7924 |
| Nauders (Oestreich) | 3908 |
| Nauscheberg | 1535 |

| | |
|---|---|
| Nauweiler Höhe | 1052 |
| Neapel | 26 |
| Neckar (bei Cannstadt) | 588 |
| Neckar (bei Eberbach) | 393 |
| Neckar (bei Tübingen) | 978 |
| Neckarquelle (bei Schwenningen) | 2084 |
| Neiſse, Stadt | 592 |
| Neiſse, Quelle bei Neiſsbach | 2708 |
| Neouville | 9714 |
| Nepâl, Thal | 3840 |
| Nephin | 2476 |
| Neron | 4060 |
| Nertschinsk | 1730 |
| Nesselblösse | 4371 |
| Nesselgrunder Forst | 2112 |
| Nethou Pic | 10722 |
| Netratich | 1642 |
| Neuberg, Dorf (Oestreich) | 2106 |
| Neuburgalp | 4260 |
| Neudorf | 2290 |
| Neudorf (Böhmen) | 1108 |
| Neuenkirchen (am Rhein) | 785 |
| Neuenweg | 2221 |
| Neufang, Berg | 1937 |
| Neufchatel | 1348 |
| Neuhaus (bei Allmut) | 2140 |
| Neuhaus (bei Saarbrück) | 1192 |
| Neumarkt (Ungarn) | 1735 |
| Neumarktl | 1442 |
| Neundorf (Voigtland) | 2054 |
| Neunkirchen (bei Wien) | 1062 |
| Neunkircher Höhe | 1624 |
| Neuntelberg | 1781 |
| Neurode, Stadt | 1182 |
| Neusalz | 190 |
| Neustadt (Schwarzwald) | 2546 |
| Neustadt | 2435 |
| — (Höhe bei Neustadt) | 2859 |
| Neu-Thann | 1080 |
| Neu Valencia (America) | 1404 |
| Nevado de Huila | 16800 |
| Nevado de Toluca | 14232 |
| — — — Hirtenwohnung | 11206 |
| New Inn Hill (Caermarthens.) t. | 1096 |
| Nibrang, Paſs | 15038 |
| Nicolai St. | 1697 |
| Nicolas San, Dorf | 8087 |
| Niederbron | 603 |
| Niederhofen | 1927 |
| Nieder Nowgorod | 1068 |
| Niedermenndig | 597 |
| Niederschäffelsheim | 566 |
| Niederhaslach | 778 |
| Nierstein t. | 594 |
| Niesen | 7340 |
| Niesky | 577 |
| Nieuweveld'sberge | 9600 |
| Nikolaiew, Bergwerke | 842 |
| Nikolajewskoy | 885 |
| Nillkapf | 2769 |
| Niloon | 4184 |
| Nilquelle | 9912 |
| Nine Barrow Down | 622 |
| Nine Staudarts (Westmorel.) t. | 2009 |
| Niti, Paſs | 15630 |
| Nizza | 61 |
| Nocera (Neapel) | 1448 |
| Noehten, Dorf | 432 |
| Nogales Los | 1350 |
| Noirmont | 3384 |
| Nollendorf, Kirche | 2119 |
| Nollenkopf | 2386 |
| Nonnensteine | 984 |
| Nonnenweiher | 2767 |
| Noomja, Dorf | 7855 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Nordhausen | 527 |
| Nordheim | 337 |
| Nordcap, Felsenspitze (Lappland) | 1200 |
| North Berule (Ins. Man) t. | 1693 |
| Noththorberg | 7570 |
| Novare | 432 |
| Novarra | 648 |
| Noversch | 4960 |
| Nürnberg | 1080 |
| Nürburg, Ruine | 2151 |
| Nueva Valencia | 1404 |
| Nuppi Vara | 2494 |
| Nystuen, Wirthshaus | 2543 |

### O.

| | |
|---|---|
| Oberalbis | 2613 |
| Oberalp, See | 6199 |
| — Paſs | 6557 |
| Oberalpstack | 10248 |
| Obdach-Alpe oder Groſsingberg (Steierm.) | 6096 |
| Oberberg (Tyrol) | 4803 |
| Oberbergheim t. | 632 |
| Oberbillig (Mosel) | 381 |
| Oberbrückenburg, Dorf | 2293 |
| Oberfiſchbach | 3220 |
| Oberhof | 2351 |
| Oberlemnitz | 1808 |
| Ober-Multen | 3452 |
| Oberndorf (Oestreich) | 2472 |
| Oberndorf (Schwarzw.) | 1595 |
| Obernheim | 2774 |
| Oberried | 1360 |
| Oberschafhausen | 764 |
| Oberschwörstadt | 950 |
| Ober-See (Steierm.) | 2986 |
| Obershie t. | 2353 |
| Oberwald | 2281 |
| Oberwildalpen | 2250 |
| Obioux | 8964 |
| Obyr | 6842 |
| Ocambaro, Stadt | 5742 |
| Ocaña | 2370 |
| Ochsenkopf (Erzgeb.) | 2744 |
| Ochsenkopf (Franken) | 3219 |
| Ochsenstock | 7373 |
| Odenspiel | 1286 |
| Oderbrück (Harz) | 2367 |
| Oe, Paſs | 9972 |
| Oedsland | 3147 |
| Oechringen | 692 |
| Oelberg (Schriesheim) | 1342 |
| Oelberg am Rhein | 1440 |
| Oellache | 2856 |
| Oelscher | 5990 |
| Oertler Spitz t. | 12019 |
| Oex, Schloſs | 3009 |
| Ofen-Scheideck | 6486 |
| Ofenfluh | 7900 |
| Offenau | 467 |
| Offenburg | 508 |
| Ofterdingen | 1300 |
| Ohlaw, Quelle (bei Altmannsdorf) | 904 |
| Oignon, Quelle | 2136 |
| Oiset | 2078 |
| Olan | 2308 |
| Olbrück | 1139 |
| Oldenhorn | 9630 |
| Old-Sarum | 249 |
| Olen, Paſs | 8628 |
| Olpe, Stadt | 964 |
| Oltingen | 1836 |
| Olymp (Lachna) | 6120 |
| Olymp (Malacca) | 11400 |
| Olymp oder Elias (Mytilene) | 3041 |
| Olzheim | 1511 |
| Omegna, Stadt | 1214 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Omitlan, Dorf | 7578 |
| Ona, Dorf | 7560 |
| Oncet, See | 7100 |
| Onstmettingen t. | 2428 |
| Oppeler Höhe (am Rhein) | 1983 |
| Ophir (Sumatra) | 12160 |
| Oppenau | 875 |
| Oräfa-Yökul | 5850 |
| Orbe, Quelle | 3616 |
| Orbé | 1441 |
| Orbelos | 9000 |
| Orgelet | 1612 |
| Orgliach-Berg t. | 3391 |
| Orleans | 360 |
| Ormelingen | 1303 |
| Ormont | 2684 |
| Ornans | 1086 |
| Orotava Villa (Canar. Ins.) | 1027 |
| Orpit | 1055 |
| Orsières | 2731 |
| Orsino | 9944 |
| Osnabrück | 197 |
| Ossone | 970 |
| Osterberg (bei Tübingen) | 1365 |
| Osterode | 627 |
| Osterwiek | 404 |
| Ostraer Berg | 709 |
| Ostrich t. | 2134 |
| Otaheiti-Berg | 10230 |
| Otschalaroo Pic | 13420 |
| Ottenstein | 2618 |
| Otter Pic | 3752 |
| Ottewalder Grund | 599 |
| Ottilien-Berg | 2466 |
| Ottmachau | 628 |
| Ottoschwanden | 1385 |
| Ottweiler | 810 |
| Otzberg | 1150 |
| Our, Quelle | 2710 |
| Ovaro | 1627 |
| Owir (Kärnthen) | 6660 |
| Oybin | 1591 |
| Oyskavelenfield | 3000 |
| Ozon | 12624 |

P.

| | |
|---|---|
| Paber, Quelle | 12145 |
| Pablo, Dorf | 6192 |
| Pabststein (Sachsen) | 1156 |
| Pacote | 3782 |
| Padauner-Kogl. t. | 6348 |
| Padua | 56 |
| Pädnack | 3217 |
| Paesana | 1663 |
| Pak-Berg | 3882 |
| Paluzzo, Dorf | 1917 |
| Pamilla | 6774 |
| Pamplona (America) | 7135 |
| Pandi oder Mereadillo, Dorf | 3102 |
| Pangi, Dorf | 8632 |
| Panir | 4040 |
| Pansache | 11228 |
| Pansitara, Dorf | 8292 |
| Paraguay Monte de | 8838 |
| Paramo, Berg | 8838 |
| Paramo de Chulucanas | 8190 |
| — de Guamani | 10284 |
| Paramo de Guanacas, Paſs | 14280 |
| Paramo del Poliche | 10788 |
| Paramo de Yamoca | 8334 |
| Parapara, Dorf | 516 |
| Parapluie, Berg | 1872 |
| Pardieiros | 1247 |
| Paredones los, Ruine | 12044 |
| Paris | 116 |
| Paris Observ. | 224 |
| Paris, Plateform | 262 |
| Parmesa Banca | 9432 |
| Parchwitz | 270 |

Digitized by Google

| | | | |
|---|---|---|---|
| Parma | 286 | Penipe, Dorf | 7812 |
| Parnaſs, Spitzb. | 3678 | Penmaen Maur t. | 1445 |
| Parpaillon | 8384 | Pennigant Hill t. | 2130 |
| Passau | 789 | Peñol El- | 5796 |
| Passavant | 2256 | Penzen-Graben-Spitz t. | 6624 |
| Passo de la Cabulla | 3070 | Peregrino Alto de | 1074 |
| Paſswang | 3701 | Perlos, Dorf | 1850 |
| Pasto, Stadt | 8032 | Permont | 1848 |
| Paternion St. | 1481 | Perote, Stadt | 7248 |
| Patocha | 6950 | Perron des Encombres | 8685 |
| Patscher Kofel t. | 6343 | Perpignan | 222 |
| Patschkau | 638 | Pertuis | 3166 |
| Patser Kofel t. | 6906 | Pessade, Dorf | 3673 |
| Paven, Lac | 3702 | Pessy Le, Dorf | 3023 |
| Payerne, Stadt | 1397 | Pesth | 216 |
| Pazeuaro, Stadt | 6780 | Petapa Pueblo | 702 |
| Pedernoso | 2154 | Petellerie | 3698 |
| Pedro San- | 7048 | Peterhill | 2532 |
| Pedro San-, Dorf (Süd-America) | 3504 | Petersalpe (Steierm.) | 5430 |
| | | Petersberg (Böhmen) | 1086 |
| Pedroux Pic de | 8940 | Petersberg (Coblenz) | 290 |
| Peine | 250 | Petersberg (bei Odernheim) | 879 |
| Peiric Pic de | 8562 | Petersberg (am Rhein) | 1045 |
| Peiſsenberg | 3145 | Petersberg (Rhön) | 1320 |
| Pelée (Martinique) | 4416 | Petersburg | 106 |
| Pele Mont | 3192 | Peterskopf (bei Dürkheim) | 1423 |
| Pelileo, Dorf | 7902 | Peter St. (Schwarzwald) | 2224 |
| Pellingen | 1270 | Petersthal | 1218 |
| Pellinger-Höhe | 1486 | Peterswald, Posthaus | 1687 |
| Pelre du grand Mület t. | 9342 | Petscha-Hamar [1] | 19716 |
| Pelvoux | 12612 | Peyredeyre (Loiresp.) | 1589 |
| Panafiel | 965 | Peyrolle | 690 |
| Penagolosa | 2268 | Pey-Veuy | 3588 |
| Peñalara | 7716 | Pezzen | 6435 |
| Penatura | 7392 | Pfaffenhoven | 498 |
| Pendle Hill (Lancas.) t. | 1692 | Pfaffenwald | 2519 |
| Pengarn (Marionets.) t. | 1417 | Pfalzburg | 1087 |
| Pen Hill (Yorks.) t. | 2106 | Pfandstock | 7960 |

1 Nach Perrot in Tableau compar. u. s. w.

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Pfeffelsbad | 2110 |
| Pfeffingen, Schloſs | 1516 |
| Pfender-Berg t. | 3264 |
| Pfingskopf | 821 |
| Pfinz, Quelle | 1145 |
| Pflasterkaute | 880 |
| Pflim-Spitz t. | 9558 |
| Pforzheim | 800 |
| Pfullingen | 1313 |
| Piacenza | 246 |
| Pian, Wirthsh. | 4894 |
| Piave, Quelle | 3978 |
| Piazette, Dorf | 3844 |
| Picade | 7458 |
| Picago de la Veletta | 6924 |
| Pic Cambielli | 9960 |
| Pic (auf Cuptana) | 9000 |
| Pic (auf St. Carlos de Chiloe | 11700 |
| Pic d. Azoren | 7554 |
| Pic de Bergons | 6504 |
| Pic de la Cascade | 10086 |
| Pic de la Pez | 10151 |
| Pic de Lauzon | 6772 |
| Pic de neige vielle | 9696 |
| Pic de Salfares | 4062 |
| Pic de Servières | 9026 |
| Pic de Mulera | 1014 |
| Pic du Chevalier | 8163 |
| Pic Duida | 7800 |
| Pic du Midi | 8958 |
| Pic Manend | 7319 |
| Pic Moira | 21386 |
| Pic St. Andreas | 20430 |
| Pic St. David | 20060 |
| Pic St. George | 20866 |
| Pic St. Patric | 21004 |
| Pichincha Huahua | 14748 |
| — Rucu | 14940 |
| Pic long | 10008 |
| Pico de Itabira | 4896 |
| Pico de la Crux | 7082 |
| Pico del Cedro | 6803 |
| Pico de los Muchacos | 7234 |
| Pico del Pozzo (Gran Canaria) | 5842 |
| Pico de la Virgara | 2756 |
| Pico de Orizaba od. Citlalteptl t. | 16302 |
| Pico de Vandama | 1722 |
| Pico de Teneriffa | 11206 |
| Pico di Teyda | 11454 |
| Pico Ruivo[1]. (Madeira) | 5695 |
| Piedra del Lagarto | 528 |
| Piesberg | 538 |
| Pilatusberg | 6605 |
| Pillar t. | 2716 |
| Pilnitz | 282 |
| Pilon du Roi t. | 2196 |
| Pilon St. t. | 3067 |
| Piming, Paſs | 12685 |
| Pinède | 7746 |
| Pinheiro | 2766 |
| Pino del Dornajito | 3198 |
| Pino Monte di | 3699 |
| Pinzgauer Höhe | 4457 |
| Piota, Dorf | 3225 |
| Pipi, Dorf | 1643 |
| Pirkendorf | 1136 |
| Pirmasens | 1105 |
| Pisa | 51 |
| Pissa la | 7722 |
| Pitatumba Alto de | 8868 |
| Piter-Boot (Isle de France) | 2544 |

1 Nach Sabine beträgt seine Höhe nur 5103 F. S. Journ. of the Roy. Inst. 1823 Apr.

| | |
|---|---|
| Piton de Salèves | 4259 |
| Pittou | 4230 |
| Pitz Beverin | 8427 |
| Pitz regneren | 8660 |
| Pitz Valrhein | 10220 |
| Pitzlat-berg t. | 8595 |
| Pitz Pesoc | 12600 |
| Pizzibianco | 9565 |
| Pizzo d'Arera | 7746 |
| Pizzo d'Ambria | 8970 |
| Pizzo del Ruse | 8174 |
| Pizzo di Gino | 6972 |
| Pizzo di Moro | 7191 |
| Pizzo d'Orsera Monte | 3011 |
| Pizzo-Scalino t. | 10248 |
| Plaine de Chamablanc | 3867 |
| Plancher le Haut | 1530 |
| Planitz, Schloſs | 1116 |
| Plateau de Bozat | 4665 |
| Plateikogel | 9748 |
| Planina | 1412 |
| Platta | 4244 |
| Platte (bei Wiesbaden) | 1500 |
| Plattenberg | 3100 |
| Plauen | 1048 |
| Plauensche Felskuppe | 594 |
| Plessenburg | 1618 |
| Plettenberg a. d. Else | 590 |
| Plissoviza t. | 2357 |
| Plombières | 1296 |
| Plosse-Berg t. | 7680 |
| Plumone | 8748 |
| Plynlimmon (Cardigans.) t. | 2311 |
| Po, Quelle | 6008 |
| Poblaron, Landhaus | 7266 |
| Podessam, Stadt | 949 |
| Podolie | 2852 |
| Podrosche, Dorf | 372 |
| Poduelnischnia | 630 |
| Pötschenberg | 3151 |
| Poeylouvic | 6552 |
| Pomallacta | 8994 |
| Pombal | 308 |
| Pontains les | 3377 |
| Pontarlier | 2548 |
| Ponte grande | 1670 |
| Pontjak-karang | 2636 |
| Ponto | 4176 |
| Pontop Pike (Durham) t. | 955 |
| Ponzione de Mezzegra | 5224 |
| Pooerie, Dorf | 5788 |
| Popayan | 5466 |
| Popocatepetl | 17884 |
| Porce, Quelle des | 8658 |
| Porrentruy | 1188 |
| Porselberg | 1155 |
| Porsil | 2630 |
| Port de Pineta | 7746 |
| Port de Siguer, Pic de | 9024 |
| Portia, Alpe de la | 6162 |
| Portillo de San Miguel | 908 |
| Porto Chuelo | 5736 |
| Portsdown Hill | 419 |
| Posada ob Zornosa | 207 |
| — de Durango | 393 |
| Poschau | 1638 |
| Poseto | 10560 |
| Posetz Pic | 10584 |
| Pot-damm, Havel | 98 |
| Pottiga | 1558 |
| Potzberg | 1684 |
| Pouillat | 2190 |
| Poupet, Berg | 2616 |
| Pouzene | 7827 |
| Pozuellos, Berg | 1380 |
| Pradelles | 3496 |
| Pradt, Chateau de | 2115 |
| Präg | 2033 |
| Prästekonen | 1998 |
| Prag | 592 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Pragel-Paſs | 5159 |
| Preber (im Lungau) | 8610 |
| Precellx Top t. | 1646 |
| Predazzo | 3198 |
| Predil (Kärnth.) | 3591 |
| Prenbühel | 3734 |
| Prendil, Paſs | 3592 |
| Prenioux Le, Dorf | 3094 |
| Prepihel, Paſs | 2623 |
| Pres-Haut | 2852 |
| Presitie-Berg t. | 2284 |
| Presolana | 7698 |
| Presburg | 312 |
| Prewald | 1704 |
| Priebus, Neiſsespiegel | 357 |
| Priel | 6565 |
| Primo Monte St. | 5250 |
| Primolano | 727 |
| Probencio | 2124 |
| Proble Alto del | 5802 |
| Pucaguaica | 13920 |
| Pucara Alto de | 9756 |
| Puderberg | 1756 |
| Puebla La de los Angelos | 6756 |
| Puebla Rio | 7446 |
| Puech d'Aujou | 2513 |
| Puerto de Almansa | 2238 |
| Puerto del Rey | 2142 |
| Puerta Grande | 8988 |
| Puerta Manzanal | 3402 |
| Pulla, Berg | 9390 |
| Pullingi | 932 |
| Purace, Vulcan | 13650 |
| Puracé, Dorf | 8136 |
| Puripi | 4028 |
| Purkgul | 21101 |
| Puy de Lassola | 3708 |
| Puy de Salomon | 3597 |
| Puy Le | 1925 |
| Puy de Barme | 3366 |

| | |
|---|---|
| Puy de Brousson | 3303 |
| Puy de Charmont | 3542 |
| Puy de Chatrat | 3164 |
| Puy de Chomont | 3442 |
| Puy de Come | 3914 |
| Puy d'Enfer | 3371 |
| Puy de Dome t. | 4541 |
| — petit | 3925 |
| Puy de la Grange | 5503 |
| Puy de l'Aiguillier | 4725 |
| Puy de Fraisse | 3472 |
| Puy de la Langle | 5386 |
| Puy de la Nugère | 3081 |
| Puy de la Tache | 4951 |
| Puy de Manson | 3106 |
| Puy de Mary | 5106 |
| Puy de Montchalme | 4357 |
| Puy de Montchar | 3693 |
| Puy de Monteynard | 3663 |
| Puy de Montgy | 3557 |
| Puy d'Olloix | 3134 |
| Puy de la Vache | 3650 |
| Puy de Pariou | 3763 |
| Puy de Pasredon | 3108 |
| Puy de Prudelle | 4200 |
| Puy-Ferrand | 5633 |
| Puy Mary | 5736 |
| Puy Prigue | 8592 |
| Puy Rodos | 3254 |
| Puy Violan | 4805 |

## Q.

| | |
|---|---|
| Quaderberg (Böhmen) | 810 |
| Quairat | 9510 |
| Quanaxato | 6420 |
| Quebrada de Boquia | 5520 |
| Quebrada de Tochacito | 8100 |
| Quedlinburg | 428 |
| Quegrières, Schloſs | 3820 |
| Quereilh, Dorf | 3078 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Quertaro, Stadt | 5970 |
| Quet | 2848 |
| Quillichao, Dorf | 3390 |
| Quilquasi Alto de | 6030 |
| Quindiu, Paſs | 10794 |
| Quingay | 732 |
| Quintana palla | 2868 |
| Quintanar del Orden | 2106 |
| Quiretaro | 6415 |
| Quito | 8943 |

R.

| | |
|---|---|
| Raab | 258 |
| Rabenstein (Rhön) | 2317 |
| Rachel (Böhmen) | 4432 |
| Rachelhäuser Kopf | 1625 |
| Raczkowa | 6569 |
| Radnor Ferest t. | 2030 |
| Rad-Pavlova | 5575 |
| Radstadt | 2037 |
| Radstadt (Oestr.) | 2408 |
| Radstädter Tauern Paſs | 5083 |
| Rakcham, Dorf | 9353 |
| Rambert St. Loire | 1180 |
| Rambo de la Baqueria | 10784 |
| Ramgurh | 3804 |
| Rammelsberg | 1927 |
| Rampur | 3188 |
| Ramstein, Schloſs | 3494 |
| Rancho del Chocolate | 1096 |
| Rangier | 2675 |
| Raon l'Etape | 902 |
| Raschuschitza-berg t. | 3319 |
| Rastadt | 400 |
| Rastkopf | 7758 |
| Rathhausberg | 8126 |
| Raticosa | 2719 |
| Rattendorf | 1836 |
| Rauchengletscher | 6942 |
| Raumünzbach | 1163 |
| Rauris | 2811 |
| Rauschenberg (Hessen) | 907 |
| — Schloſs | 1076 |
| Ravensberg (bei Potsdamm) | 293 |
| Ravil | 7532 |
| Rayas (America) | 6699 |
| Razbor-berg t. | 3962 |
| Real del Monte, Dorf | 8562 |
| Real de Pachuka, Stadt | 7638 |
| Realp | 4782 |
| Recület | 5361 |
| Regeleskapf | 2773 |
| Regelsburg | 2304 |
| Regensburg | 950 |
| Reichenau, Dorf | 1878 |
| Reichenau (in Oestreich) | 1437 |
| Reichenbach a. d. Murch, Wirthshaus | 1548 |
| Reichenberg | 1002 |
| Reichenfels (Kärnth.) | 1967 |
| Reichenstein, Schloſs | 1183 |
| Reiche-Spitz t. | 9089 |
| Reifträger | 4280 |
| Reifweg | 2274 |
| Reigoldswyl | 1631 |
| Reinbellen | 1175 |
| Reinerz, Bad | 1678 |
| Reinfelden | 805 |
| Reingrafenstein | 945 |
| Remi St. | 4936 |
| Remm-Spitz t. | 9863 |
| Remscheid | 1095 |
| Rennberg | 1495 |
| Rennweg | 3314 |
| Repi-hibbu | 6025 |
| Resegnone de Lecco | 5825 |
| Reuenthaler Höhe | 1311 |
| Reulissen | 5400 |
| Reuthen | 365 |
| Reutlingen | 1142 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Reveneaia-Sopka | 3265 |
| Revilds-Eggen | 4220 |
| Recina (Sibir.) | 495 |
| Rhein (bei Düsseldorf) | 100 |
| Rhein (bei Königswinter) | 170 |
| Rhein (bei Mainz) | 200 |
| Rhein (bei Basel) | 755 |
| Rhein (bei Ragatz) | 1608 |
| Rheine, Emsspiegel | 89 |
| Rheinfall (Schafh.) | 1013 |
| Rheinfelden | 823 |
| Rheingrafenstein | 654 |
| Rhew Mountain t. | 950 |
| Rhone, Quelle | 5418 |
| Riedern | 2150 |
| Rienz, Quelle | 4871 |
| Riegel | 603 |
| Rigi | 5529 |
| Rigifirst | 5141 |
| Rigikulm | 5542 |
| Rigistafel | 4866 |
| Rigolet Haut- | 3637 |
| Rigolet, Paſs | 3293 |
| Rikenbach | 2267 |
| Rimsingen Ober- | 638 |
| Rinnberg (Hessen) | 1570 |
| Rinteln | 202 |
| Riobamba nuevo | 8898 |
| Rio Frio, Pächterei | 7188 |
| Rio Nare, Mündung | 628 |
| Rio Negro | 6452 |
| Rious Pic de | 9054 |
| Rippin Tor (Devons.) t. | 1453 |
| Rippoldsau | 1711 |
| Riesenkoppe | 4950 |
| — kleine Koppe | 4331 |
| — schwarze Koppe | 4302 |
| Risoud | 4168 |
| Ritzlihorn | 10173 |
| Rixheim | 725 |
| Riva | 3418 |
| Rivel Mountain t. | 1751 |
| Rivington Hill t. | 1450 |
| Rizougspitze | 3972 |
| Rocca corva | 3052 |
| Rocca di Papa | 2230 |
| Roc blanc | 7812 |
| Rocca la, Dorf | 1500 |
| Roc de Nievre | 2972 |
| Roche d'or | 2616 |
| Rochelle | 83 |
| Rocher de la Fleche | 8484 |
| Roche d'Antre | 2962 |
| Roche-Melon bei Susa | 10852 |
| Rochemolon | 10879 |
| Rocher de Frene t. | 9604 |
| Rockfish Gap | 1317 |
| Rodaz do Maraô | 316 |
| Rodney's Pillar t. | 1125 |
| Roen-berg t. | 6494 |
| Rosthifluh | 4331 |
| Rötiberg | 4308 |
| Rogi, Dorf | 8538 |
| Rohatz | 6407 |
| Rohr, Dorf | 1975 |
| Rohracker | 855 |
| Rohrberg | 2652 |
| Rohrhardsberg | 3594 |
| Rohrkopf | 3633 |
| Rohrer, Berg | 2652 |
| Rolandsbreche | 9252 |
| Rom, Capit. | 141 |
| Rongella, Paſs | 3240 |
| Roocks-hill | 659 |
| Roonong, Paſs | 13613 |
| Rosa Monte[1]. | 15600 |

1 Diese Bestimmung von Vincent in Mem. della Reale Accad.

| | |
|---|---|
| Rosa Monte t. | 14310 |
| Rosa Santa - | 7952 |
| Rosawitz, Elbs. | 342 |
| Roseberry Topping t. | 959 |
| Rosegone - Monte | 5778 |
| Rosenberg | 1357 |
| Rosenberg (Böhmen) | 1813 |
| Rosendorf (Böhmen) | 888 |
| Rosenleithen | 2900 |
| Roſsberg (bei Darmst.) | 666 |
| Roſsberg (bei Hechingen) | 2681 |
| Roſsberg | 4836 |
| Roſsbodenstock | 8735 |
| Roſsbühl | 2960 |
| Roſsbühlschanze | 2925 |
| Rosseck | 3549 |
| Rossert | 1575 |
| Roſskopf | 2291 |
| Rostkopf | 7758 |
| Roſsstock | 7700 |
| Roſstrappe | 1452 |
| Roſswangen | 1964 |
| Rothau | 1089 |
| Rothenberg, Dorf (Schwaben.) | 1078 |
| Rothenfluh | 2039 |
| Rothewand t. | 8301 |
| Rothhorn | 9036 |
| Rothmatte | 3738 |
| Rothstock | 8828 |
| Rotom - See | 5038 |
| Rotorn - See | 5607 |
| Rottenstein | 6735 |
| Rougemont, Schloſs | 3074 |
| Rousses | 3495 |
| Rousses Grandes | 9359 |
| Rudig | 966 |
| Rudolstadt | 1015 |
| Rückenberg | 652 |
| Rueras | 4311 |
| Rüttihof | 2667 |
| Ruhberg | 803 |
| Ruhland (Sachs.) | 256 |
| Ruhstein | 2834 |
| Ruldung | 19802 |
| Rumbles Moor t. | 1227 |
| Rummer - Joch t. | 7082 |
| Runang, Paſs | 13606 |
| Rupberg | 2567 |
| Ruppersdorf | 1687 |
| Rupin, Paſs | 14525 |
| Ruppi - Vara | 2494 |
| Ruthingi, Paſs | 13735 |
| Ruvigado | 4862 |
| Ryſswyl | 1996 |

## S.

| | |
|---|---|
| Saarbrück, Spiegel | 575 |
| Saarburg, Fluſsspiegel | 714 |
| Saargemünd | 620 |
| Saarlouis | 524 |
| Saas | 3060 |
| Saatz | 727 |
| Sabhate - math | 4181 |
| Sabhatu | 3945 |
| Sachseln | 1539 |
| Sackpfeife | 2103 |
| Saddlebock t. | 2619 |
| Säckingen | 909 |
| Sährichen, Dorf | 370 |
| Säkkok | 3000 |
| Särstein | 5901 |
| Sagan (Schlesien) | 509 |
| Sagan (Bobergegend) | 305 |
| Saiſnitz | 2412 |

---

delle Scienze di Turino XXV. 230 macht den Monte Rosa zum höchsten Berge in Europa, ist aber ohne Zweifel unrichtig.

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Saile-Berg t. | 7883 |
| Sailerberg | 6813 |
| Saint-Front | 3754 |
| Saint-Michel (in Velay) | 2128 |
| Saint-Rambert | 1178 |
| Sairsoch | 3189 |
| Salak (Java) | 6674 |
| Salamanca, Stadt (Amer.) | 5412 |
| Salamonde | 1518 |
| Salaze (Bourbon) | 10200 |
| Salbert Grand | 1992 |
| Salève kleiner Jura | 2730 |
| Saléve, Mont | 4257 |
| Salmonsweil | 1474 |
| Salmshöhe | 8358 |
| Salüces | 1042 |
| Saluzzo | 763 |
| Salvi, Mont | 2338 |
| Salzach, Quelle | 4439 |
| Salzberg (bei Hallein) | 3232 |
| Salzburg | 1408 |
| Salzuffeln | 254 |
| Samern, Dorf | 122 |
| San Antonio, Dorf (Amer.) | 1296 |
| San Carlos del Rio Negro | 762 |
| Sandhöhe, Dorf | 2082 |
| Sandoux St., Schloſs | 1935 |
| Sandthurm | 1642 |
| San Fernando de Apure | 204 |
| San Fernando de Atabapo | 732 |
| Sangay (America) | 16080 |
| San Juan, Dorf (America) | 1164 |
| San Juan del Rivo, Dorf | 6090 |
| San Martin (Amer.) | 1307 |
| Santa Crux, Dorf (in Cumana) | 960 |
| Santa Maria de Cubo | 2121 |
| Santarem | 216 |
| Santa Rosa | 8034 |
| Santa Rosalia | 437 |
| Santa, Stadt | 276 |
| Sant Jago de las Tunas, Dorf | 8058 |
| Saone, Quelle | 1240 |
| — (bei Vismenil) | 1228 |
| — (bei Darney) | 756 |
| — (bei Jussy) | 714 |
| — (bei Gray) | 624 |
| Sapada, Dorf (Venet.) | 3749 |
| Sapeau | 2724 |
| Saraj-Gurgh | 4623 |
| Sarcena | 4805 |
| Sarcoui Grand | 3563 |
| Sardaô | 76 |
| Sasbach | 542 |
| Sasso Cimone | 3798 |
| Sasso del Ferro | 3288 |
| Sasso Gran | 8255 |
| Sattel | 4799 |
| Sattelalpe | 4227 |
| Sattelsberg t. (Tyrol) | 6637 |
| Sau, Quelle | 2485 |
| Saulkögel | 8100 |
| Saulo | 5309 |
| Saungla, Dorf | 7994 |
| Saurot | 2130 |
| Saurem | 9530 |
| Sausheim t. | 720 |
| Sauzet le Froid | 3254 |
| Sauveur St. | 1004 |
| Saverne | 570 |
| Sbeoniza t. | 3106 |
| Scaletta-Scheideck | 7820 |
| Scarene | 1070 |
| Scarpignano | 6997 |
| Scesa plana | 9112 |
| Schabnik t. | 3136 |
| Schacken, Dorf | 1623 |
| Schäfler, Alpe | 5926 |
| Schaerhorn | 10185 |

| | |
|---|---|
| Schafberg (Roſswangen) | 3121 |
| Schafberg (Salzb.) | 5351 |
| Schafberg oder Schafburg t. | 8233 |
| Schafhausen, Rheinbrücke | 1163 |
| Schalksburg | 2803 |
| Schandau (Sachsen) | 342 |
| — Bad | 350 |
| Scharstein, Schloſs | 1576 |
| Scharthau | 3309 |
| Scharzfeld | 828 |
| Schatul-Paſs | 14595 |
| Schauenburg a. d. Saar | 1780 |
| Schauenburger Schloſs | 1854 |
| Scheibenberg, Stadt | 2056 |
| Scheiber Koſl | 7625 |
| Scheibwald | 5672 |
| Scheideck | 1684 |
| Scheideck Groſse | 6089 |
| Scheideck, Paſs | 5996 |
| Scheiterberg | 5462 |
| Schelingen | 978 |
| Schelstadt | 705 |
| Schelter, Berg | 1380 |
| Schemnitz | 2172 |
| Schenkenzel (Kinzig) | 1074 |
| Scheppenstedt | 488 |
| Scherkolle t. | 1559 |
| Scheyen | 6950 |
| Schicos | 2100 |
| Schierke | 1906 |
| Schilcherhöhe | 6736 |
| Schio | 661 |
| Schiltach | 1094 |
| Schiltach, Posthaus | 2401 |
| Schiltberg | 7405 |
| Schinhulahua | 14420 |
| Schirding | 1430 |
| Schlangenberg (Sibir.) | 1548 |
| Schlopperebene | 9030 |
| Schlegel (Baireuth) | 1919 |
| Schleierberg t. | 6798 |
| Schlern-Berg t. | 7876 |
| Schlettstadt | 538 |
| Schliengen | 766 |
| Schliereck | 2121 |
| Schlingen | 635 |
| Schloſsberg (bei Baden) | 1476 |
| Schlügen, Paſs | 6170 |
| Schmalbach | 1268 |
| Schmallenberg, Stadt | 1215 |
| Schmelzboden, Bergwerk (Schweiz) | 4206 |
| Schmiedeberg, Stadt | 1388 |
| Schnabelhorn | 3413 |
| Schnarcher, Felsklippen | 2079 |
| Schneeberg (Böhmen) | 4007 |
| Schneeberg, Dorf (Böhmen) | 1758 |
| Schneeberg (Böhmen) | 2150 |
| Schneeberg (Fichtelgeb.) | 3071 |
| Schneeberg (Franken) | 3289 |
| Schneeberg (Oestreich) | 6444 |
| Scheeberg, groſse (Rieseng.) | 4300 |
| — kleine | 3876 |
| Schneeberg (Tyrol) | 7764 |
| Schneeberg, Stadt (Sachs.) | 1464 |
| Schneegrube, (Riesengeb.) | 4488 |
| Schneekopf | 3141 |
| Schneidhöhe | 1137 |
| Schneifel (bei Schlausenbach | 2069 |
| — (bei Cerf) | 2320 |
| Schneit-Berg | 1681 |
| Schnudelhöhe | 2618 |
| Schockl | 4778 |
| Schodwien | 1604 |
| Schömberg | 2100 |
| Schönau (Schlesien) | 846 |
| Schönau (Schwarzw.) | 1675 |
| Schoenberg (Rhein) | 912 |



Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Schönberger Höhe (Rhein) | 1453 |
| Schönecker | 1039 |
| Schöneseifel | 1830 |
| Schönemünzach | 1360 |
| Schönpriesen, Elbspiegel | 359 |
| Schoepfheim, Dorf | 2270 |
| Schöppinger Berg | 490 |
| Schopfheim | 1144 |
| Schorborn, Glashütte | 779 |
| Schorndorf | 755 |
| Schornen | 2392 |
| Schott-Wien | 1788 |
| Schramberg | 1346 |
| Schreckhorn | 12558 |
| Schreibendorf | 1476 |
| Schrof-wand t. | 8881 |
| Schroot, Quelle | 485 |
| Schünberg | 2001 |
| Schutzenstein | 2245 |
| Schuzgast | 440 |
| Schwaningen | 1705 |
| Schwäbisch-Hall | 804 |
| Schwamberg, Dorf (Steiermark) | 729 |
| Schwanden (Schweiz) | 1623 |
| Schwarze Berg (Rieseng.) | 3605 |
| Schwarze Bühl | 2543 |
| Schwarzenberg, Stadt | 1335 |
| Schwarze Spitze (Spitzbergen) | 4224 |
| Schwarzhorn t. | 7562 |
| Schwarzwald (Böhmen) | 5870 |
| Schwarzwalter Sennhütte | 4480 |
| Schwaz (Oestreich) | 1630 |
| Schwedenschanze (Schwaben) | 2915 |
| Schweidnitz | 778 |
| Schweighof | 1325 |
| Schweinfer-Joch t. | 11521 |
| Schwelm, Stadt | 517 |
| Schwenger-Berg | 1504 |
| Schwenningen | 2151 |
| Schweighausen | 1301 |
| Schwesterkorn (Schweiz) | 4404 |
| Schwyz | 1677 |
| Scopa, Dorf | 2010 |
| Sea Fell (Cumberl.) t. | 2970 |
| Seben | 1628 |
| Seeberg | 1192 |
| Seeberg, Sternw. | 1220 |
| Seeberg, Groſs- | 1372 |
| Seebruck | 2843 |
| See-Ebene | 3217 |
| Seefelder | 2858 |
| Seekopf | 3105 |
| Seegruben-Spitz t. | 6971 |
| Seelbach | 646 |
| Seemoos | 3083 |
| Seesen | 628 |
| Seewangen | 2496 |
| Seffern | 690 |
| Segnes | 8900 |
| Segnes, Paſs | 7468 |
| Segovia | 2608 |
| Seifenberg | 4476 |
| Seiffertshain | 413 |
| Seimberg (bei Broterode) | 2366 |
| Seine, Quelle | 1338 |
| Seissel | 726 |
| Seissen | 2178 |
| Seixos, Castell | 3407 |
| Sektiniskaia | 436 |
| Seleginsk | 1779 |
| Semlanspitz | 11118 |
| Semmering, Berg | 3122 |
| Semmering-Paſs | 2944 |
| Sempacher See | 1585 |
| Semulujeoe | 512 |
| Sentis-Höhe | 7669 |
| Septlaux | 7182 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Sergento el, Berg | 5160 |
| Serra de Arrabida | 1534 |
| Serra de Cintra | 1613 |
| Serra de Estrella | 6061 |
| Serra de Montachique | 3594 |
| Serra de Montejunto | 2045 |
| Serra de Quadrasal | 1575 |
| Serra de San Antonio | 8680 |
| Serra de Palmella | 821 |
| Serra de S. Luiz | 1117 |
| Serra de Sa. Luzia | 600 |
| Serro de S. Rosa | 9048 |
| Serra de Vallongo | 844 |
| Serere, Pic de | 9090 |
| Serooz | 2473 |
| Sesanna Sta. | 1528 |
| Seuse | 6295 |
| Sèvres | 204 |
| Sewen | 1494 |
| Shehallien | 3342 |
| Shelkur (Shalkar) | 9762 |
| Shepkee | 9809 |
| Shipki, Dorf | 9943 |
| Shooters Hill | 418 |
| Shunnor Tell (Yorks.) t. | 2185 |
| Sia-Berg t. | 3810 |
| S. Jago (Canaria) | 2775 |
| Siddelhorn | 8675 |
| Sideris, Bad | 3300 |
| — Dorf | 2802 |
| Sidonie t. | 2023 |
| Siegen, Stadt | 827 |
| Siegburg | 420 |
| Sieglitzberg | 2198 |
| Siegquelle | 1762 |
| Sierra de Cordboa (Amer.) | 9930 |
| Sierra de Estre | 5233 |
| Sierra de Estremadura | 5227 |
| Sierra de Foja | 3386 |
| Sierra de Luxar | 5957 |
| Sierra de Picdade | 5460 |
| Sierra (im Puorta del Rey) | 2142 |
| Sierra Morena | 2291 |
| Sierra Nevada de Sta Marta | 18024 |
| Sigismundsberg | 2338 |
| Sigmaringen | 1795 |
| Sila Monte | 4634 |
| Silberberg, Stadt (Schlesien) | 2295 |
| Silberbrunnen, Bad | 819 |
| Silla de Caracas | 8100 |
| Sillejord | 332 |
| Similaun Spitz t. | 11117 |
| Simmern | 997 |
| Simonside Hill t. | 1320 |
| Simplon t. | 10830 |
| Simplon, Höchste Straſse t. | 6174 |
| Simplon, Dorf | 4552 |
| Sinai | 7200 |
| Sinapa Sopka | 2814 |
| Sinaja-Sopka | 3631 |
| Singalang | 11260 |
| Singer | 1356 |
| Sinzheim | 473 |
| Siraberg | 7230 |
| Sirenz | 789 |
| Sirniz-Alp | 7318 |
| Sirnitz (Schwarzw.) | 3313 |
| Sissach | 1201 |
| Sissacher Fluh | 2261 |
| Sitten | 1246 |
| Sixmadun | 9113 |
| Skalingsfield | 2040 |
| Skiddow t. | 2835 |
| Skirri-Porri | 2680 |
| Skollen | 2500 |
| Skrad | 1970 |
| Slaunig-Berg t. | 3152 |
| Sleap Dorin | 2954 |



Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Sligstul | 1940 |
| Sliudianaja - Gora | 2724 |
| Snea - Fell t. | 1880 |
| Sneehättan | 7082 |
| Snisnik | 6300 |
| Snöfials Yökul | 4424 |
| Snowdon t. | 3355 |
| Sobernheim | 429 |
| Soboli | 936 |
| Sochauda - Berge | 11928 |
| Söller oder Dreithor Spitze | 8061 |
| Sohlberg | 2324 |
| Soissons | 486 |
| Sokolich t. | 2318 |
| Soleil Bian | 6132 |
| Solferinò, Spitze des alten Thurms daselbst t. | 713 |
| Solitüde | 1530 |
| Sollstein-Berg, Klein - t. | 7802 |
| Solothurn | 1284 |
| Solstein Groſser t. | 9106 |
| Solothurn, Aarsp. | 1310 |
| Som Grand | 6463 |
| Somma | 3509 |
| Sommerau | 2727 |
| Somosierra | 4634 |
| Sonderillo, Dorf | 6030 |
| Sonne Hohe, Forsthaus (Thüringen) | 1333 |
| Sonneberg (Elsas) | 1950 |
| Sonn-Joch t. | 4549 |
| Sonnenkoppe | 2840 |
| Sonnsteinspitz | 2638 |
| Sonntagsberg | 2076 |
| Sonntheim | 2400 |
| Soongnam, Dorf | 8463 |
| Soorahun, Stadt | 7248 |
| Soorkanda - Berg | 8700 |
| Sopak | 2530 |
| Soracte | 2129 |
| Sorau | 436 |
| Sorles | 7733 |
| Sospello | 1039 |
| Souto redondo | 1164 |
| Spandau, Spree | 99 |
| Spannort, Groſse | 10011 |
| Spaskoe | 500 |
| Speer ob Weser | 6050 |
| Speier | 304 |
| Speikkogel | 5852 |
| Sperberheier Dammhaus | 1741 |
| Spian - Joch t. | 9022 |
| Spiegelberg (Sudeten) | 2803 |
| Spietz, Dorf | 1660 |
| Spigni-urch t. | 3055 |
| Spital | 1518 |
| Spitzberg | 2517 |
| Spitzberg (Böhmen) | 886 |
| Spitzenberg (bei Wetzlar) | 750 |
| Spitzenstein | 4680 |
| Spitzkopf (Hardtgeb.) | 1347 |
| Spitzliberg | 10678 |
| Spitzmauer | 7464 |
| Spitzmeilenberg | 7690 |
| Spitzmer - Joch t. | 7434 |
| Spitz - Stein t. | 4883 |
| Splügen, Paſs | 6451 |
| Splügen, Dorf | 4620 |
| Splügen, Wirthshaus | 5826 |
| Spremberg, Stadt | 328 |
| Sprottau | 373 |
| Spydberg | 620 |
| Sri - Kanta | 19044 |
| Stadtoldendorf | 669 |
| Stahlberg (am Rhein) | 1185 |
| Stahlberg (bei Moschel) | 1337 |
| Staika | 4750 |
| Stainach, Dorf (Oestr.) | 1927 |
| Stangalpe | 7140 |
| St. Anna (Steiermark) | 2542 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Sta. Maria, Hospitz | 5761 |
| Stanskopf-Berg t. | 8464 |
| Stanz | 1338 |
| Starkenburg (Heppenheim) | 874 |
| Starkenburg (bei Trarbach) | 990 |
| Staro-Aleisk | 683 |
| Staudenhof | 2770 |
| Staufen | 889 |
| Stauffen, Berg | 1285 |
| Stauffenburg, Ruine | 1080 |
| Staunton | 1227 |
| Stauro Aleiskoy | 722 |
| Stavnicza (Ungarn) | 4847 |
| Stawropol | 1531 |
| St. Cloud | 450 |
| Steiger | 1036 |
| Steinach | 3389 |
| Steinacker | 1463 |
| Steinasäge | 2297 |
| Steinau, Dorf (Schweiz) | 1443 |
| Steinau (Schlesien) | 250 |
| Steinberg (Schwarzw.) | 3516 |
| Steinberg (Tyrol) | 7988 |
| Steinberg (Harz) | 1428 |
| Steinen | 1045 |
| Steinheiderberg | 2598 |
| Steinknigle | 1568 |
| Steinwand (Rhön) | 2025 |
| Stelferjoch | 7426 |
| Stella | 10485 |
| Stellenberg | 2613 |
| Stengerts, Berg | 1135 |
| Sternenberg | 2614 |
| Sterzing (Oestreich) | 2920 |
| Stiege | 1545 |
| Stilfſer-Joch t. | 8610 |
| Stilfer-Joch t. | 7426 |
| Stinnerkogel | 6355 |
| Stirnberg | 5899 |
| Stirzing | 3030 |
| St. Gertraud (Kärnthen) | 937 |
| St. Guillaume | 6169 |
| St. Johann Höchst t. | 1352,20 |
| St. Julien, Dorf | 2983 |
| St. Leonhard (Kärnth.) | 1611 |
| St. Georgen | 2672 |
| St.-Marie-aux-Mines | 1179 |
| St. Martin, Dorf (Amer.) | 7236 |
| St. Michael (Schwarzw.) | 802 |
| Stoch | 4878 |
| Stockberg | 3338 |
| Stockholm | 300 |
| Stocksberger Jagdhaus | 1657 |
| Stoffelskuppe | 1225 |
| Stollberg | 897 |
| Stollberg, Schloſs | 1066 |
| Stoppelberg | 1150 |
| Stoppelsberg (Rhön) | 1688 |
| Stopselberg | 2039 |
| Storvansfield | 3330 |
| Stow Hill (Harefords.) t. | 1330 |
| St. Polo t. | 238,80 |
| Strada t. | 2441 |
| Strahlenburg | 580 |
| Stranda-Fiallet | 3005 |
| Strascha t. | 2320 |
| Straſsburg | 450 |
| Strauchhan | 1517 |
| Strausdorf | 454 |
| Strehlen | 472 |
| Streifling | 1588 |
| Stresa | 733 |
| Strömklumpen | 2689 |
| Strohhaube (Schlesien) | 2275 |
| Stromberg | 658 |
| Stromboli | 2520 |
| Stühli, Paſs | 3225 |
| Stühlingen, Wuttach-spiegel | 1385 |
| Sturmhaube | 4540 |

| | |
|---|---|
| Stuttgart | 837 |
| Suacha | 8046 |
| Sublieres | 2400 |
| Suchet Grand | 3846 |
| Suchet Petit | 3738 |
| Sudline Alp | 6384 |
| Suharunpur | 1025 |
| Sukhi | 8322 |
| Sule-Tind | 5524 |
| Sulitelma Süd Gipf. | 5173 |
| — Nord Gipf. | 5796 |
| Sulz, Neckarbr. | 1343 |
| Sulzberg t. | 3110 |
| Sulzburg | 1033 |
| Sumberg | 1308 |
| Sumdo, Dorf | 11729 |
| Summerau | 2706 |
| Sunigaicu Alto di | 13578 |
| Superga | 488 |
| Suppingen | 2381 |
| Suran, Dorf | 6802 |
| Surkunda | 8699 |
| Surul | 9000 |
| Sustenhorn | 10904 |
| Sutton | 695 |
| Svuku Fiäll | 4145 |
| Sylfiällen | 2787 |
| Syllfiell | 5460 |
| Sylltoppen | 6652 |
| Szohoya t. | 2327 |
| Szalatin | 3947 |

**T.**

| | |
|---|---|
| Tablahuma | 14336 |
| Tachtlacuaya, kl. Dorf | 6678 |
| Tafelberg (Cap) t. | 4182 |
| Tafelberg (v.Diemensland) | 6000 |
| Tafelfichte | 3379 |
| Tafelstein (Thüringen) | 2456 |
| Tagliaferro | 9133 |
| Tagliamento, Quelle | 4142 |
| Taillon | 9894 |
| Talefre | 8006 |
| Talsarn (Cardigans.) t. | 1072 |
| Tamaimo | 1604 |
| Tambello El | 9000 |
| Tambo de Burcay | 9306 |
| Tambo de Guamote | 9594 |
| Tamisas | 2108 |
| Tancitaro Pico de | 9850 |
| Tandeja Hacienda de | 7459 |
| Tangermünde, Kirche | 127 |
| Tanglieg | 8633 |
| Tannenberg, Schloſs | 930 |
| Tara | 414 |
| Taranda, Dorf | 6662 |
| Tarascon | 1496 |
| Tarbes | 983 |
| Tarnowitz | 976 |
| Tartas, Berg | 4139 |
| Tarvis, Marktfl. (Kärnth.) | 2301 |
| Tasco, Stadt | 5496 |
| Tasdorf | 142 |
| Tashgeng | 11487 |
| Taudain | 1860 |
| Tauern | 4800 |
| Tauern Heiligenbluter | 8052 |
| Tauffen-Joch | 6571 |
| Taufstein (bei Frankf.) | 2140 |
| Taurer-Joch t. | 6546 |
| Tegernau | 1354 |
| Tegernsee | 2324 |
| Teguize Villa | 800 |
| Tehuantepec | 108 |
| Tehuilotepec, Silbermine | 5514 |
| Teiiaskaia | 493 |
| Telegraphenberg (bei Metz) | 1088 |
| Telenka Draga | 2101 |
| Temascal, Eishöhle | 13638 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Temascatio, Dorf | 5574 |
| Tembleque | 1980 |
| Tenda Cal du | 5526 |
| Tengdi, Dorf | 11260 |
| Tepecuacuilco, Dorf | 3114 |
| Teplitz | 725 |
| Teplitzer Stift | 2172 |
| Tequendama, Höhe des Wassersp. | 7596 |
| — unten | 6570 |
| Terglow (Krain) | 9648 |
| Testevoire | 4453 |
| Tète de Boeuf | 4939 |
| Tète de Nang | 4296 |
| Tête prango | 6786 |
| Tetschen | 457 |
| Tetschen Elbsp. | 338 |
| Tetzelstein | 880 |
| Teufelsberg (Africa Cap.) | 3100 |
| Teufelsburg (Schwarzw.) | 1124 |
| Teufelsg'säſs | 8717 |
| Teufelshochzeit (Carpat.) | 3696 |
| Texeda (Canar.) | 2945 |
| Thabor, Berg | 1878 |
| Thann | 1026 |
| Thanna, Wirthshaus | 2340 |
| Tharandt | 701 |
| Thengen | 1357 |
| Thennenbach | 1043 |
| Therma (Lemnos) | 1130 |
| Thevenon de Beutrand | 4270 |
| Thibet, Hochebene | 14003 |
| Thiemendorf | 705 |
| Thiengen | 706 |
| Thiers, Stadt | 1238 |
| Thiersheim | 1680 |
| Thingen | 1044 |
| Thionville, Mosel | 484 |
| Thörichter Gern | 6301 |
| Tholey | 1187 |
| Thomasset t. | 3185 |
| Thor, Hohe | 8058 |
| Thumel-Mezereb, Libanon | 8946 |
| Thun | 1749 |
| Thuner-See | 1780 |
| Thurner Der | 3211 |
| Tiegereck (Tobolsk) | 4613 |
| Tigerskoy | 1291 |
| Tjitarum, Quelle | 4359 |
| Tjiwedny | 3352 |
| Tiloe, nördlich | 5090 |
| — südlich | 5662 |
| Tinaxos, Ebene | 8364 |
| Tintohill | 2281 |
| Tiri, Stadt | 2184 |
| Titiribi | 3709 |
| Tittlis | 10296 |
| Tivoli | 595 |
| Tlalpujahua | 7262 |
| Toblach | 3902 |
| Tobol | 400 |
| Tocupo | 1932 |
| Todtmoos | 2494 |
| Todtnau | 2035 |
| Tödiberg | 11153 |
| Tönnigstein | 292 |
| Tönset | 3100 |
| Töplitz | 700 |
| Tofte | 1825 |
| Toiri | 5290 |
| Toledo | 1734 |
| Toluca | 8274 |
| Toulouse | 446 |
| Tomba Monte | 5590 |
| Tombak Raeijong | 5903 |
| Tombenhorn | 9795 |
| Tomependa, Dorf | 1242 |
| Tomokeu, Paſs | 12574 |
| Tomsk | 246 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Tonai | 10296 |
| Tordesillas | 1986 |
| Toresby | 2700 |
| Torgau | 262 |
| Tormaträsk | 1200 |
| Tornello | 8244 |
| Torres Vedras | 361 |
| Totonileo, Dorf | 6762 |
| Toul | 595 |
| Toulouse | 545 |
| Tour | 4472 |
| Tour La, Stadt | 3103 |
| Tourget | 2010 |
| Tourmalet, Paſs | 6746 |
| Tourne | 10098 |
| Tournette | 7068 |
| Tournoelle, Chateau de | 1881 |
| Toximilco, Dorf | 6930 |
| Trarbach | 353 |
| Treun, Quelle | 1464 |
| Traundorf | 1477 |
| Traunsee | 1254 |
| Traunstein | 4050 |
| Traversello, Dorf | 2732 |
| Trefauer-Kaiser t. | 7123 |
| Tregarron Dawn t. | 1639 |
| Trelley Beacon t. | 949 |
| Trelod | 6694 |
| Tresero-Monte t. | 11136 |
| Triebenberg | 1066 |
| Trient t. | 754 |
| Trier | 485 |
| Trier Mosel | 385 |
| Triest t. | 265 |
| Trinité, Alpdorf | 5088 |
| Trins, Dorf | 2641 |
| Trittlingen | 2124 |
| Troeberg | 2150 |
| Troglou | 9378 |
| Trompeter(bei Wiesbaden) | 1560 |
| Tronchats | 3048 |
| Tronchy | 1473 |
| Trons | 2654 |
| Troumouse | 9852 |
| Truchtersheim | 569 |
| Trunson Trans | 2696 |
| Truxillo | 198 |
| Truxillo (Amer.) | 2530 |
| Tryberg | 2092 |
| Tsandra-Badani | 7182 |
| Tsandra-Bhawani | 5348 |
| Tscharer Paſs | 3286 |
| Tschernai Sopka | 1562 |
| Tschernitz | 408 |
| Tscheroiwand Hoch- | 11675 |
| Tsöpeln, Dorf | 412 |
| Tuchitan | 91 |
| Tübingen, Sternw. | 1194 |
| — Neckar | 989 |
| Tula | 5739 |
| Tuladinskoy | 1274 |
| Tulan calco | 7065 |
| Tulcan | 9498 |
| Tulna | 2994 |
| Tulpaiegna | 3800 |
| Tumiriquiri | 5856 |
| Tunel-Makseb | 8892 |
| Tungrang, Paſs | 12920 |
| Tungurahua | 15264 |
| Tuque de Cieyo | 8436 |
| Tuque del Maoupas | 9690 |
| Turbaco, Dorf | 1122 |
| Turin | 607 |
| Turin, Sternw. | 738 |
| Tusa, Dorf | 9108 |
| Tusis | 2280 |
| Tuttlingen | 2033 |
| Tuttlinger Höhe | 2647 |
| Tuzheegung | 21101 |
| Twengg | 3491 |

| | |
|---|---|
| Tyrol, Schloſs | 2060 |

**U.**

| | |
|---|---|
| Ubate | 7956 |
| Uchalaru | 13420 |
| Udine | 366 |
| Uehlingen | 1942 |
| Uenökoe | 7392 |
| Uhyst | 390 |
| Ulm | 1130 |
| Ullersdorf | 523 |
| Ulriohsberg (Klagenfurth) | 3072 |
| Ulrichstein, Schloſs | 1867 |
| Unadingen | 2018 |
| Unimac, Pic | 5180 |
| Unna, Stadt | 342 |
| Unt, Dorf | 1668 |
| Untermünsterthal | 1167 |
| Untersberg | 4206 |
| Untersberg | 5516 |
| Unterschächen | 3170 |
| Unterst-Malt | 2895 |
| Unzmarkt | 2238 |
| Uomo del, Paſs | 6846 |
| Urach | 1477 |
| Uribarry-Gamboa | 1680 |
| Usclade, Dorf | 3297 |
| Ustkamenogorsk | 692 |
| Utschineckowa | 293 |

**V.**

| | |
|---|---|
| Valaison | 11260 |
| Val de Moro | 1902 |
| Valdepennas | 2064 |
| Valencia (Amer.) | 1485 |
| Valenciana, Silbermine | 7164 |
| Valerien Mont | 551 |
| Valladolid (Amer.) | 6006 |
| Vallendalsee | 2461 |
| Vallenstadt | 1300 |
| Vallier Mont | 8731 |
| Vallispiken | 4100 |
| Vallongo | 366 |
| Vallorbe | 2367 |
| Valorbe, Dorf | 2283 |
| Vals | 3828 |
| Valser, Bergpaſs | 7714 |
| Valsoragletscher | 7728 |
| Vandeix, Dörfchen | 3427 |
| Vanne Mont de | 2154 |
| Varallo, Stadt | 1458 |
| Varens | 7200 |
| Varese-See | 800 |
| Varrona-Monte | 7848 |
| Vastingauer-See | 1700 |
| Vaucluse, Schloſs | 444 |
| Vaucluse, Berg | 1916 |
| Vaucluse, Quelle | 336 |
| Vaulion Dent de | 4470 |
| Vedretta Marmolato? | 10800 |
| Vega de S. Lorenzo, Dorf | 6858 |
| Veglia oder Stampalie | 1490 |
| Velan Mont | 10391 |
| Velez (America) | 8764 |
| Velha de Maraô | 815 |
| Velica Viscohicza | 4338 |
| Velinie Stratistie t. | 2248 |
| Veliki-Stol | 6878 |
| Velino | 7366 |
| Veli-planik t. | 3903 |
| Velo Burgo di | 3978 |
| Velvic, Stadt | 1582 |
| Venda | 1710 |
| Venda Figueira | 37 |
| Venda nova | 1690 |
| Venel | 1102 |
| Venta de Almarez | 2316 |
| Venta de Juanilla | 3636 |
| Venta del Pagador de Castro | 2880 |

Digitized by Google

Venta del Rincon 2748
Venta de Moxente 990
Venta de Pindamon 6078
Venta grande 3636
Venta la Rancheria (Amer.) 4743
Ventoux Mont 6032
Ventozelo 1859
Veran St., Dorf 6279
Verdoppia 7686
Verdun 528
Vergara 663
Vernum Spitz t. 8661
Verona t. 157
Vertatscha 6018
Vesuv t. 3695
Vetschau 201
Veyseïre la, Dorf 3303
Vic 594
Vich 1392
Vico Soprano 3378
Victor St. Mont 2780
Victoria la, Stadt 1614
Vierwaldstädter See 1387
Viescherhörner 12500
Vietach 3840
Viegas Las, Dorf 7338
Vignemale 10332
Vilan (Angstenberg) 3756
Vilanders-Berg t. 7712
Vilaret 2009
Villach 1812
Villa de Cura, Stadt 1596
Villalpando 1920
Villafranca 1302
Villa verde 2131
Villeneuve sur Yonne 325
Villeta, Stadt 3342
Viller 828
Villingen, Chaussee 2398
Villingen t. 2132
Vincent St., Vulcan 3000
Vincente San 2634
Vinpach 852
Viola Monte 2695
Viso 11808
Vittoria 1668
Vittoria (Canar. Ins.) 864
Viü 2450
Vizille 996
Viznauerstock 4656
Vodemiak, Berg 2631
Voehrenbach 2478
Vogelberg (Schweiz) 3589
Vogelberg 10278
Vogelheide (Thüringen) 2220
Vogelsdorf 153
Vogtsburg 1047
Void 778
Voirlich Ben 3095
Voiron 938
Voiron 4206
Voisaco 6276
Voit-Sommern 2069
Volasell 2823
Volcan de agua (Guatimala) 10500
Volcano 2400
Volzeinerberg 4280
Vorberge 888
Vordernberg 2458
Vorie-Duder 3400
Vos 1056

## W.

Wacheberg 816
Wachinik Zello 1817
Wachsenburg 1465
Wachthübel 2998
Wachtkuppel 1882
Wadern 854
Wagenberg, Groſse (Thüringen 2456

| | |
|---|---|
| Waidhofen, Dorf | 1080 |
| Waidihorn | 6028 |
| Wait-Hill (Nordamer.) | 7316 |
| Waitzfeld t. | 10181 |
| Waizdorferberg | 1159 |
| Wakenberg | 1473 |
| Waldburg | 4273 |
| Waldagesheim | 1076 |
| Waldenbuch | 1063 |
| Waldenburg, Stadt (Schleſien) | 1359 |
| Waldenburg, Schloſs | 1562 |
| — Stadt | 1359 |
| Walderbſenkopf | 2526 |
| Waldersbach | 1467 |
| Waldfiſcha | 822 |
| Waldhäuserhof (bei Tübingen) | 1515 |
| Waldhölzerkopf | 1929 |
| Waldkamme t. | 5491 |
| Waldlaubersheim | 693 |
| Waldraster-Spitz t. | 8341 |
| Waldschorren | 1161 |
| Waldshut | 1036 |
| — Rhein | 954 |
| Wallenstedter See | 1356 |
| Walli | 4700 |
| Walloch Moraviza | 1896 |
| Walzknopf | 1750 |
| Wandkäfer | 6487 |
| Wanen-Berg t. | 76[illegible]6 |
| Wangone | 2142 |
| Wannenfluhe | 3980 |
| Warmbrunn | 1077 |
| Warmsroth | 983 |
| Wartburg | 1110 |
| Wartenberg | 1601 |
| Wartha | 745 |
| Warthaberg | 1702 |
| Warthoo | 10015 |
| Waschenegg | 7902 |
| Washington, Berg | 9370 |
| Wasserberg | 7335 |
| Wasserburg | 1241 |
| Waldkopf (bei Ettlingen) | 1029 |
| Water-Cragg (Yorks.) t. | 2051 |
| Watzmann (Tyrol) | 9058 |
| Watzmann (Baiern) | 7929 |
| Waxenstein | 7109 |
| Waxriegel | 5712 |
| Weaver Hill (Stafford) t. | 1083 |
| Wechsel | 5332 |
| Weggir, Burg | 1345 |
| Wehr | 1085 |
| Weichselboden, Dorf | 1950 |
| Weilerburg t. | 1710 |
| Weimar | 650 |
| Weiſsegg | 8155 |
| Weisselberg | 1778 |
| Weissenberg kleine (Thüringen | 2282 |
| — — — | 2216 |
| Weiſsenburg | 564 |
| Weiſsenstadt | 1978 |
| Weiſsenstein, Wirthsh. (Schweiz) | 6372 |
| Weiſse Wand (Carpaten) | 3427 |
| Weiſsfeld | 10118 |
| Weiſskeiſsel, Dorf | 417 |
| Weiſstannenhöhe | 3714 |
| Weitenau | 1163 |
| Weitersbach | 1292 |
| Wellendingen | 2312 |
| Wendel, Stadt | 831 |
| Wengern, Alp | 6345 |
| Werang, Paſs | 12198 |
| Werffen | 1532 |
| Werne, Stadt | 186 |
| Werningerode | 730 |
| Weſsingen | 1640 |

| | |
|---|---|
| Westex-Yökul | 4424 |
| Westhofen, Ruhrbrücke | 237 |
| Wetterhorn | 11454 |
| Wetterschroffen | 8814 |
| Wetterstein | 7619 |
| Wetzlar | 390 |
| Wewis Ben | 3489 |
| Whartu (Hutloo) | 10000 |
| Whernside t. | 2240 |
| Widspitz-Ferner t. | 11591 |
| Wiebersweiler | 737 |
| Wieden | 2543 |
| Wiedersberger Horn t. | 6525 |
| Wiederstein | 7786 |
| Wiedesheim | 486 |
| Wieladinger Höhe | 2217 |
| Wien, Donau | 420 |
| Wien | 451 |
| Wiesenberg (Schweiz) | 3091 |
| Wiesbachenhorn | 11000 |
| Wildegrad-Kogl t. | 9133 |
| Wildemann | 1299 |
| Wildenburg | 2099 |
| Wildenkogel | 6352 |
| Wilder-See | 2843 |
| Wildhaus | 3413 |
| Wilferdingen | 569 |
| Willmandingen | 2617 |
| Wilmarderberg | 795 |
| Wilsberg (d. Gleichen) | 3351 |
| Wimpfen | 460 |
| Windberg (Sachsen) | 1027 |
| Windeck (bei Weinheim) | 620 |
| Windfels | 6879 |
| Windlocher Berg | 1262 |
| Wingreen | 883 |
| Winterberg (bei Schwelm) | 906 |
| Winterberg (Hessen) | 1958 |
| Winterberg, Groſser (Sachsen | 1599 |
| Winterberg, Kleiner | 1444 |
| Winterhalde (Lothring.) | 1890 |
| Winterlingen | 2385 |
| Winterstaude-Berg t. | 5758 |
| Wipperfurth, Kirche | 870 |
| Wirijauer-See | 1788 |
| Witgenstein, Schloſs | 1442 |
| Wittenberg, Elbe | 204 |
| Wittenberg | 248 |
| Wittichenau | 337 |
| Wittle Hill (Lancast.) t. | 1514 |
| Wittnau | 1233 |
| Wochodna (Ungarn) | 2913 |
| Wörgel | 1831 |
| Wörner | 7579 |
| Wörtschacht | 1924 |
| Wörzelspitz t. | 5618 |
| Wolfach | 819 |
| Wolfenbüttel (Okers.) | 306 |
| Wolfersweiler | 1184 |
| Wolfsberg, Stadt (Kärnthen) | 1478 |
| Wolkenstein, Schloſs | 2205 |
| Wolkenstein, Stadt | 1457 |
| Wollhausen | 494 |
| Wormser Joch t. (Alpen) | 7688 |
| Wrekin (Shrops.) t. | 1238 |
| Würtemberg, Schloſs | 1200 |
| Wünschelburg, Stadt | 1492 |
| Würzburg | 525 |
| Wüschelburg | 1492 |
| Wurzbach | 1601 |
| Wurzelberg | 2374 |

X.

| | |
|---|---|
| Xalapa, Burg | 4242 |
| Xalapa, Stadt | 4260 |
| Xama Monte | 2215 |

Y.

| | |
|---|---|
| Yamunavatari | 22214 |

Digitized by Google

| | |
|---|---|
| Yarumal | 6939 |
| Yſsingeaux | 2522 |
| Yſsingeaux | 2470 |
| Yusu; Quelle d. Sipon | 14898 |
| Yzanna Monte | 6920 |
| **Z.** | |
| Zaininger Höhe | 2623 |
| Zambaleri, Dorf | 4598 |
| Zangenberg t. | 7658 |
| Zanière | 3233 |
| Zapplau | 351 |
| Zaulaca Meierei | 4086 |
| Zebru od. Königsspitze t. | 11516 |
| Zegligen | 1711 |
| Zehru | 11516 |
| Zelaya, Stadt | 5646 |
| Zell (in Kärnthen) | 2844 |
| Zell (in Schwaben) | 1328 |
| Zell (am Hammersbach) | 676 |
| Zella | 1420 |
| Zellerfeld | 1769 |
| Zeroschitz t. | 2504 |
| Zeroviza t. | 2587 |
| Zibelle | 497 |
| Zillhausen | 1995 |
| Zimijacca | 7984 |
| Zinchin | 15241 |
| Zinsweiler | 527 |
| Ziolmcaure | 2100 |
| Zipaquirá | 8207 |
| Zittau | 664 |
| Zitters, Dorf | 1710 |
| Zmeinogorsk, Grube | 1052 |
| Zobtenberg | 2318 |
| Zöblitz | 1871 |
| Zollmijaur | 2100 |
| Zongchen | 13794 |
| Zorge, Dorf | 1050 |
| Zschopau | 961 |
| Zuckerhut | 8796 |
| Zürch | 1251 |
| Zürcher See | 1284 |
| Zuger See | 1303 |
| Zugspitze | 9099 |
| Zumpango, Dorf | 3366 |
| Zurder-Kopf t. | 5317 |
| Zuschendorf | 862 |
| Zwei-Simmern, Dorf | 2939 |
| Zwiselberg (Harz) | 1302 |
| Zwodau | 1233 |
| Zwölferkogel | 5731 |
| Zyrainow, Bergw. | 983 |

Folgende Höhen, nicht über dem Meeresspiegel, sondern vom Boden an gerechnet, lassen sich hier anreihen:

| | |
|---|---|
| Höchste Pyramide | 449,7 |
| Dom in Antwerpen | 443,5 |
| Münster in Straſsburg | 437,5 |
| Stephanskirche in Wien | 425,0 |
| Martinskirche in Landshut | 422,0 |
| Peterskirche in Rom | 407,0 |
| Michaeliskirche in Hamburg | 402,0 |
| Peterskirche ebend. | 367,0 |
| Paulskirche in London | 338,0 |
| Münster in Ulm | 337,0 |
| Dom in Mailand | 336,0 |
| Thurm Asinelli in Bologna | 330,0 |
| Thurm der Invalidenkirche in Paris | 323,4 |
| Dom in Magdeburg | 313,0 |
| Pantheon in Paris | 243,3 |
| Balustrade des Thurms Notre Dame | 203,3 |
| Colonne des Platzes Vendome | 129,0 |
| Plaforme des Observatoriums | 81,0 |

*M.*

Digitized by Google

## Höhenrauch S. Nebel, trockener.

# Höhle.

Grotte; *Caverna;* Caverne, grotte; *Cave, cavern, hole.*

Die in das Gebiet der physischen Geographie gehörigen Höhlen sind die zahlreichen unterirdischen Räume, welche sich durch ihre unglaubliche Weite, interessante Tropfsteingebilde, viele und mannigfaltige Reste urweltlicher Geschöpfe und andere Merkwürdigkeiten auszeichnen. Sie lassen sich abtheilen in natürliche und künstliche, und die ersteren sind dann in der Hauptsache wieder entweder vulcanische oder nicht vulcanische, obgleich in einzelnen Fällen nicht bestimmt zu entscheiden ist, durch welche wirkende Ursachen, entweder einzelne oder vereinte, sie entstanden seyn mögen.

Einige ältere Geologen waren nicht abgeneigt, groſse unterirdische Höhlen anzunehmen, welche bei der frühesten Gestaltung der Erde entstanden seyn, und zum Theil dasjenige Wasser aufgenommen haben sollten, wodurch ein ursprünglich flüssiger Zustand der Erde bedingt wurde; allein man ist neuerdings sehr allgemein zu der Ueberzeugung gekommen, daſs die Hypothese eines wässerigen Flüssigkeitszustandes der Erde allzuviele überwiegende Gründe gegen sich habe, als daſs sie aufrecht zu erhalten wäre. Aber auch nach der Theorie der Plutonisten ist es mindestens wahrscheinlich, daſs durch das Erheben der Bergmassen bei der Urbildung der Erde eine beträchtliche Menge sehr geräumiger unterirdischer Höhlen entstanden sind. In welchem Zustande sich dieselben aber gegenwärtig befinden, darüber kann man keine andere Untersuchung anstellen, als welche sich sogleich in das Gebiet der bloſsen Hypothesen verliert, und daher am besten ganz unterbleibt[1]. Ungleich sicherer läſst sich darthun, daſs die Herde der noch jetzt thätigen Vulcane sich in unermeſslichen Höhlen befinden oder mit denselben zusammenhängen, deren innere Structur uns aber unbekannt ist, und ihre Untersuchung wird daher am zweckmäſsigsten mit der Betrachtung der Vulcane verbunden.

---

1 Vergl. *Geologie.* Th. IV. S. 1284 u. a. a. O.

Digitized by Google

Bei weitem die Mehrzahl der zugänglichen und bekannten Höhlen ist durch die allmälige Wirkung des Wassers auf kalksteinhaltige Lager in einiger Tiefe der Berge entstanden, und bei vielen kann man noch gegenwärtig wahrnehmen, daſs die Höhlenräume durch Lösung und Auswaschung weicher Kalksteinmassen vermittelst stets flieſsenden Wassers vergröſsert werden. Dieses ist nämlich bei allen denen der Fall, worin kleinere oder gröſsere Bäche flieſsen oder aus ihnen hervorkommen[1]. Andere Höhlen dagegen sind offenbar durch Einsenkungen entstanden, deren Ursache nicht mit Gewiſsheit nachzuweisen ist, eine geringe Zahl scheint durch Ueberstürzung groſser Felsmassen über einander mit Zurücklassung hohler Räume gebildet, und auf ähnliche Weise haben auch die vulcanischen Höhlen unter ausgedehnten Decken von Lava ihren Ursprung erhalten. Endlich sind ohne Zweifel viele Höhlen nach von Humboldt[2], Breislak[3] und andere durch Hebungen entstanden, welche die zu verschiedenen Zeiten entwickelten elastischen Flüssigkeiten verursachten. Die meisten derselben sind interessant wegen ihrer unglaublich groſsen Räume, der schönen, groſsartigen und mitunter äuſserst zarten Tropfsteingebilde, welche nicht selten die verschiedenartigsten Gegenstände darstellen, viele aber hauptsächlich wegen der unglaublichen Menge der in ihnen enthaltenen Versteinerungen; in der Regel aber ist das Besuchen derselben unangenehm und beschwerlich, weil man bald hinauf-, bald hinab-steigen, zuweilen durch enge Gänge kriechen, durch Wasser waten oder schauerliche Felsenklüfte auf schmalen natürlichen oder künstlichen Brücken überschreiten muſs, und auſserdem in der feuchten und kalten Umgebung dem Schmutze und dem herabträufelnden Wasser ausgesetzt ist. Dessen ungeachtet reizt aber die Neugierde zum häufigen Besuchen dieser oft unermeſslich groſsen und wundersam gebildeten Wölbungen.

Eine Menge groſser und interessanter Höhlen ist vermuthlich noch gar nicht bekannt, denn mehrere sind erst in neueren Zeiten zufällig entdeckt; eine groſse Zahl ist nicht beschrieben,

---

1 de Luc Briefe über die Geschichte der Erde und die Menschen. II. Br. 112.

2 Relation histor. T. I. liv. 3.

3 Inst. geol. I. 206.

weil noch keine Naturforscher sie untersucht haben. Dennoch aber ist die Zahl der bereits genauer bekannten unglaublich groſs, und eine Aufzählung und ins Einzelne gehende Beschreibung aller würde theils zu viel Raum erfordern, theils bei zu groſser Uebereinstimmung in den meisten Stücken nicht einmal genügendes Interesse gewähren.

Die bekanntesten und interessantesten derselben sind folgende[1]: 1. Die wegen ihrer zahlreichen darin gefundenen Petrefacten berühmte *Baumannshöhle* am Harze, mit vielen Stalactiten, aus 6 einzelnen Grotten bestehend, welche an 100 Lachter in den Berg hineingehen, und durch die wachsenden Tropfsteingebilde stets mehr verengt werden[2]. 2. Die *Biels-* oder *Bielsteinshöhle,* welche erst 1788 zufällig entdeckt wurde, gleichfalls am Harze, enthält keine Petrefacten, wie die Baumannshöhle. 3. Die *Schwarzfelderhöhle,* gleichfalls am Harze, war in früheren Zeiten wegen ihrer zahlreichen Petrefacten sehr bekannt[3]. 4. Die *Klutert* in der Grafschaft Mark hat 700 Schritte vom Eingange einen Brunnen und nicht weit davon ein wohlschmeckendes Wasser. In tiefer Ferne hört man das Rauschen eines Wasserfalles[4]. 5. Die *Sundwig-* oder *Prinzenhöhle* (von einem Besuche des Kronprinzen von Preuſsen so genannt) gleichfalls in der Mark, durch schöne Tropfsteingebilde, und viele interessante Petrefacten ausgezeichnet. In ihr hat man früher eine Muschel mit einem förmlichen Mundstücke gefunden, welche geblasen einen starken Ton giebt, und denjenigen gleicht, deren sich die Maron-Neger als Kriegstrompeten bedienen. Da sie durchbohrt ist, um an einem Bande getragen

---

1 Vergl. Beschreibung merkwürdiger Höhlen. Ein Beitrag zur physikal. Geschichte der Erde. Herausgegeben von Dr. Rosenmüller und Dr. Tilesius. Leipzig 1799. und 1805. II Vol. 8. mit 10 und 8. K. Beschreibung der gröſsten und merkwürdigsten Höhlen u. s. w. von Ritter. Hamburg 1801. Kant phys. Geogr. II. 122. Bergmann physikal. Beschreib. der Erdkugel übers. durch Röhl. Greifsw. 1780 8. I. Cap. 7. Buckland Reliquiae diluvianae; cet. 2d ed. Lond. 1826 1 Vol. 4. ein sehr gelehrtes, mit vielen schönen und instructiven Kupfern geziertes Werk.

2 Buckland p. 117.

3 Ebend. p. 113. Leibnitz Protogaea ex edit. Scheidii. Gott. 1749. 4. T. 1. §. 36.

4 Siehe Mannigfaltigkeiten 3. Jahrg. S. 49 bis 59.

Digitized by Google

zu werden, so deutet dieses auf einen früheren Gebrauch durch Menschen[1]. 6. Eine nicht uninteressante Höhle ist bei *Glücksbrunn* unweit Meinungen im thüringer Walde; 7. desgleichen bei *Mechau* unweit Putzig in Preuſsen, mit stark kieselhaltigem Tropfsteine[2]. 8. Im Baireuthischen unweit *Muggendorf* sind in einem Thale verschiedene Höhlen, welche sich durch die erstaunliche Menge der in ihnen vergrabenen Ueberreste urweltlicher Thiere auszeichnen[3]. Die *Gailenreuther* besteht aus sechs bekannten Abtheilungen, welche meistens durch enge Oeffnungen verbunden sind. In der vorderen Abtheilung findet man Stücke von Kohlen, Trümmer von Urnen und eine groſse Menge meistens zerbrochener Thierknochen. Die Erde ist groſsentheils aus verweseten thierischen Theilen entstanden, und in der fünften Abtheilung empfindet man einen eigentlichen Modergeruch[4]. 9. Die *Rosenmüllers - Höhle* ebendaselbst (von ihrem Beschreiber so genannt) gehört gleichfalls von den vielen dortigen unter die bedeutenderen. Sie enthält auſser interessanten Tropfsteingebilden gleichfalls viele Petrefacten, namentlich Köpfe des Höhlen-Bären *(ursus spelaeus)*[5]. 10. Die *Mixtnitzer-Höhle* in Steiermark enthält gleichfalls eine Menge Petrefacten[6]. 11. Bei *Urach* in Schwaben befindet sich eine Höhle, deren Boden mit feinem weiſsem Sande bestreuet ist. Wenn der Schnee auf den Alpen schmilzt, so füllt sie sich ganz mit Wasser. Man ist gegen eine halbe Meile in ihr vorgedrungen, kennt sie aber

---

1 S. Hesperus Heft XXVIII. 63. Nöggerath Gebirge Rheinland Westphalen II. 28. III. 15.

2 Verhandl. d. Gesellschaft naturf. Freunde I. 184.

3 S. Phil. Trans. 1794. II. 402. Die Umgebungen von Muggendorf, ein Taschenbuch von G. A. Goldfuss. Erlangen 1810. Köppel Beschreibung der Rosenmüller's und anderer Höhlen bei Muggendorf in Baireuth. Erlangen 1795. m. K. 4. Auſser den im Text genannten kennt man noch die Höhlennamen *Mockas*, *Zahnloch*, *Zewig*, *Rabenstein*, *Schneiderloch*, *Kühloch*, *Forsters* - Höhle und vielleicht noch andere.

4 Esper ausführl. Nachricht von neuentdeckten Zoolithen u. s. w. Nürnberg 1774. Fol. Ders. in Schriften d. Berl. Ges. Naturf. Freunde V. 56. Buckland a. a. O. S. 133.

5 Rosenmülleri Diss. de ossibus fossil. animalis cuiusdam etc. Leipz. 1794. 4. Buckland S. 99.

6 Sartori Naturwunder des Oestreich. Kaiserthums.



Digitized by Google

noch nicht ganz[1]. 12. Im Canton Bern befindet sich die sogenannte *Krystall-Höhle*, worin viele sehr helle Bergkrystalle von groſser Reinheit und auſserordentlicher Gröſse liegen. Einige derselben sollen 4 bis 5, ja einer sogar 8 Centner wiegen. 13. Eine der gröſsten, vielleicht die gröſste aller bekannten Höhlen ist die *Adelsberger*, 6 Meilen von Triest. Sie nimmt beim Eingange einen kleinen Fluſs, die Piuka auf, welcher eine Strecke in ihr flieſst, hernach versinkt, und erst bei Planina[2] wieder ans Licht kommt, wo er den Laybach bildet. Auſserdem strömt noch ein Bach in derselben, über welchen zwei natürliche Brücken von Tropfstein gehen, beinahe eine Meile von einander. Die eine soll an 80 bis 100 Klafter über dem Wasser in der Tiefe gewölbt seyn. Sie hat eine Menge Irrgänge, fürchterliche Abgründe, dunkle Risse und Grüfte, welche verhindern, sie bis ans Ende zu untersuchen, eine wegen ihrer Ausdehnung ohnehin nicht wohl mögliche Aufgabe. Auch diese ist ein Kalksteingebirge und hat eine Menge Petrefacten[3]. Die dortigen Gebirge sind überhaupt voll von Höhlen, deren mehrere ohne Zweifel mit einander zusammenhängen, als: 14. Die *Höhle bei Unz*, welche den aus dem Cirknitzer See kommenden Fluſs Jesero aufnimmt, und viele groſse Gewölbe hat. 15. Die *Kleinhäuslerhöhle*, eine Meile von Adelsberg, aus welcher der Fluſs Unz kommt, deren weite Gänge noch nicht untersucht sind. 16. Die *Höhle bei Lueg*, vier Meilen von Adelsberg, welche aus drei Stockwerken besteht, deren unteres den Bach Lokna aufnimmt, und stets voll Wasser ist. 17. Die *Pondpetschio-Höhle* in Mittelkrain hat einen geräumigen Eingang und ein groſses Gewölbe, aus welchem viele Gänge auslaufen, welche aber wegen der vielen und tiefen Teiche in derselben unzugänglich sind. 18. Unter die kleineren, aber mit interessanten Tropfsteingebilden ausgekleideten Höhlen gehört auch die *Magdalenengrotte* oder die Höhle zu St. Maria Magdalene

---

1 Ueber diese und andere Höhlen der schwäbischen Alp siehe Schübler in Kastner's Archiv. V. 1.

2 Beim Ausflusse hat die Höhle gleichfalls einen Eingang, und heiſst dort die von Planina. S. Edinb. Journ. of Sc. XII. 220.

3 S. Keyssler's Reis. Br. 78. Bertrand-Geslin in Férussac Bullet. des Sc. nat. 1826. Mai p. 12. Brocchi in Bib. Ital. 1822. N. 74. p. 275.

etwa eine Stunde von der Adelsberger entfernt, u. m. a.[1]. 19. In den Cevennen, drei Lieues von Ganges, ist eine durch ihre Gröſse merkwürdige Höhle, *grotte des demoiselles* oder *Jungferngrotte*, auch *Hexenhöhle*, genannt. Man muſs 1000 Fuſs hinabsteigen, um in dieselbe zu kommen, schätzt ihre Weite halb so groſs als die Stadt Ganges, und die Höhe ihrer Wölbung ist so beträchtlich, daſs das hellbrennendste Fackellicht, wenn man sich auf die höchste Stelle begiebt, die Decke nicht sichtbar macht. Man findet darin Pyramiden von Tropfstein, welche Thürmen gleichen, und Säulen, welche vier Mann nicht zu umspannen vermögen. Andere Tropfsteingebilde sind so zart, als die feinste Bildhauer-Arbeit, z. B. der Altar, eine 3 F. hohe ovale Steinmasse auf regulären Stufen ruhend und mit einer Tafel bedeckt, welche mit Artischocken rtigen Blättern verziert ist. Manche dieser Gebilde glänzen so, daſs sie beim Fackelschein Wasserfällen gleichen. Am auffallendsten ist eine sehr natürlich gebildete Mutter mit zwei Kindern[2]. 20. Eben so groſs, aber wegen ihrer schweren Zugänglichkeit nur wenig untersucht ist die *grotte de notre Dame de Balme*, 7 Stunden von Lyon. Sie hat einen gewölbten Eingang, 60 F. hoch und 54 F. weit, und theilt sich in zwei Galerien, deren rechte viele Eiszapfen hat, die linke dagegen schöne und viele Tropfsteingebilde[3]. 21. Die *grotte de la Berquilla* bei Caravaca in Murcia ist von Don Juan Sanchez Cisneros im Jahre 1803 zuerst beschrieben und mit der Jungferngrotte verglichen[4]. Der Eingang ist 12 Fuſs breit und 5 Fuſs hoch. Man kommt zuerst in ein groſses Zimmer mit einer hohen Säule, dann stets tiefer in andere Zimmer, deren tiefste 350 bis 400 Tois. tief hinabgehen sollen, und ist in ihr erst bis 2000 Veras vorgedrungen. Unter den wunderbaren Stalaktiten sind einige gigantisch groſs und wahrhaft grotesk, andere sehr zierlich, zum Theil glänzend und wunderbar gestaltet. 22. Eine *Höhle im Berge Cintro* in Estremadura, welche sich auf dem Capo de Roca im sogenannten Korkkloster endigt, gehört unter die ausgedehnte-

---

1 S. Sartori Naturwunder d. österr. Kaiserth. I. 229.

2 S. Esprit des Journaux 1787. Dec. Lichtenb. Mag. V. 1. ff. Edinb. Journ. of Science VIII. 216.

3 Journ. de Phys. LXXVI. 469.

4 Annales de ciencias naturales. Madrid 1803. VI. 177.



Digitized by Google

sten und merkwürdigsten. 23. Blos durch ihre Tropfsteingebilde ausgezeichnet ist die Höhle bei *Pedrazza de la Sierra* in Altcastilien. 24. Von ungewöhnlicher Gröſse dagegen soll *die Michaelishöhle* im Felsen von Gibraltar seyn. 25. Die *Höhle bei Cartama* unweit Malaga wurde 1730 zufällig beim Ausgraben eines Kellers entdeckt. Man fand darin höchst interessante Ueberbleibsel einer altrömischen Stadt, namentlich einen Tempel mit vielen Ueberresten der Bildhauerkunst, Münzen u. s. w. Im Jahre 1756 wurden indeſs die weiteren Ausgrabungen auf Königl. Befehl eingestellt, und das Ganze muſste wieder zugeschüttet werden[1]. 26. Durch ihre ungewöhnliche Gröſse ausgezeichnet, aber wenig Tropfstein enthaltend ist die noch nicht bis in ihre äuſsersten Wölbungen untersuchte *groſse Höhle im Thale von Alcantara* unweit Lissabon. Sie ist in einem Kalksteingebirge mit vielem Kalkspat, auch werden die Steine aus derselben zum Bauen und Kalkbrennen benutzt. 27. Die *kleine* oder *gelbe Höhle* in demselben Thale geht bis zu einer furchtbaren Tiefe hinab, und zeichnet sich durch eine Menge gigantischer Tropfsteinpfeiler aus. Eine derselben reicht vom Boden bis an die Decke und ist, wie einige andere, von gelber Farbe, wovon die Höhle den Namen erhalten hat. In ihr findet man viele versteinerte Seethiere[2].

Groſsbritannien hat eine Menge merkwürdiger Höhlen, unter denen 28. die *Castleton's-Höhle* (vom gemeinen Volke auch *Devils-arse* genannt) in Derbyshire unter die sieben Naturmerkwürdigkeiten dieser Provinz gezählt wird. Den Eingang zu derselben bildet ein enges, bloſs nach Westen geöffnetes Thal, worin ein kleines Dorf mit ärmlichen Bewohnern erbauet ist, die zugleich als Führer in die Höhle dienen. Das Besuchen derselben bietet des wahrhaft Romantischen eine Menge dar. Nach dem Eingange kommt man zuerst durch ein sehr geräumiges Gewölbe, dann über einen beträchtlichen Fluſs, demnächst durch mehrere Gewölbe abermals an einen Fluſs. Ueber diesen wird der Reisende in einem Nachen gefahren, in welchem er aber liegen muſs, während der Führer den Kahn unter der tief herabhängenden Decke wegzieht, indem er selbst durch das Wasser watet. Nachdem man hierauf eine bedeutende

1 S. Rosenmüller's und Tilesius Beschreib. u. s. w. II. 119 u. f.
2 a. a. O. I. 140.

Strecke durch groſsartige Gewölbe zurückgelegt hat, hört man eine wunderbare Musik in der Entfernung tönen, welche durch anhaltend von der Decke in einen Bach herabfallende Waſsertropfen erzeugt wird, in denen ein dagegen gehaltenes Licht die schönsten Regenbogenfarben hervorbringt. Indem man in gröſserer Tiefe das furchtbare Rauschen eines Waſserfalles hört, führt der Weg am Ufer eines über Kieſsand hinflieſsenden klaren Baches hin, welcher jedoch zuletzt zu Klippen und Abgründen führt, und daher nicht weiter verfolgt werden kann. Ein anderer Gang führt zurück, welcher sich so verengt, daſs man hindurch kriechen muſs, bis man in einem ungeheuren Gewölbe anlangt, in deſsen Mitte sich ein Hügel befindet. Auf die Spitze deſselben pflegt dann der Führer mit seiner Fackel zu steigen, welche in der Höhe gesehen einem Sterne gleicht. Auſserdem giebt es in diesem weiten Raume wundersame Echo's. Wird endlich in einem geeigneten Zeitpuncte die Ausgangsthüre geöffnet, so gewährt der Glanz der in Westen untergehenden Sonne nach langer Dunkelheit einen höchst imposanten Anblick[1]. 29. Die *Poolshöhle*, ebendaselbst, wird ihrer schönen Tropfsteingebilde wegen gleichfalls zu den sieben Naturwundern der Grafschaft gezählt. Man ist etwa 2000 F. weit in ihr gekommen. Ein stark rauschender Bach flieſst mitten hindurch, und stürzt sich neben einem groſsen, wie Alabaster klaren, mit vielen Verzierungen umgebenen Pfeiler in den Abgrund. Man hat ihm den Namen Königin Maria gegeben. 30. Die *Eldonhöhle (Elfenhöhle)* gleichfalls in Derbyshire galt früher für einen unergründlichen Schlund, wozu ein etwa 60 F. langer und 20 F. breiter Gang führt. Cotton lieſs von dort aus ein Senkblei hinab, und glaubte auf 1600 F. Tiefe noch keinen Grund zu finden, Lloyd dagegen will sie befahren, und nur etwa 200 F. tief gefunden haben, wo sich dann die Räume, wie gewöhnlich in den Höhlen, bedeutend erweitern[2]. Man glaubt, daſs sie mit der vorigen zusammenhänge. 31. Die *Ochi-Höhle* in Sommerset ist durch ihre Tropfsteingebilde sehr ausgezeich-

---

1 Moritz Reise eines Deutschen in England. Berlin 1794. 8. Faujas de st. Fond Reise durch England, Schottland und die Hebriden. A. d. Fr. von Wiedemann 1799.

2 Leigh in Act. Erud. Lips. 1701. Nov. p. 517. Phil. Trans. 1771. Vol. LXXI. N. 31.

Digitized by Google

net², 32. die *Wokey-Höhle* ebendaselbst aber besteht aus einer Menge an Höhe und Breite sehr verschiedenen Gängen. Aus ihrem innersten Busen flieſst ein Bach, welcher sich durch die Menge der darin lebenden Aale ausgezeichnet.

Verschiedene Höhlen sind neuerdings durch Buckland² wegen ihres reichen Inhalts an Ueberresten einer früheren Thierwelt genau beschrieben, als 33. die *Höhle von Kirkdale* ohngefähr 25 engl. Meilen von York, in einem aus Oolith bestehenden Gebirge, deren höchste Wölbung etwa 80 F. beträgt. Sie wurde 1821 zufällig entdeckt, und hat eine sehr reiche Ausbeute an Petrefacten gegeben. 34. Die Höhlen bei *Kirby-Moorside* erhalten aus dem nämlichen Grunde ein Interesse, und sind überhaupt der bei Kirkdale sehr ähnlich, meistens aber nur klein, z. B. die *Huttonhöhle* in den Mendip-Hügeln, die auf *Derdham Down* bei Clifton, die *Dream-Cave* bei Wirksworth, die *Höhle der Crawley-Rocks* bei Swansea, die von *Paviland* u. a. 35. Die *Kilkorny-Höhle* in Irland ist im Winter stets trocken, im Sommer aber flieſst aus ihr drei bis viermal eine solche Menge Wasser, daſs binnen 24 Stunden die angrenzenden Felder auf 20 Fuſs hoch unter Wasser zu stehen kommen. Letzteres soll fruchtbaren Schlamm mit sich führen, und sich wieder in die Höhle zurückziehen.

In Herroe auf dem Sundmeere in Norwegen liegt 36. die *Höhle Dolsteen*, von einem mäſsig groſsen Eingange, der sich dann aber in gröſsere Hallen erweitert, welche der Sage nach unter dem Meere hin bis Schottland gehen sollen. Einige Geistliche, welche 1750 weit darin fortgingen, wollen das Toben des Meeres über sich gehört haben, kamen aber nicht bis ans Ende. An einem Abgrunde wollen sie einen Stein hinabgerollt haben, und den Schall eine ganze Minute lang gehört haben, was offenbar übertrieben ist. 37. Im Berge Limur befindet sich gleichfalls eine Höhle, welche eigentlich einem Gange über einem Boden von Kalkstein gleicht. Unter dem

---

2. J. Brome Travels over England, Scotland and Wales. Lond. 1707. 8.

2 Reliquiae diluvianae. Auſserdem findet man Beschreibungen der Höhlen Englands in Conybeare and Phillips Geology of England and Wales. pag. 353. desgleichen in Farey's Survey of Derbyshire pag. 64. und 292.

Boden flieſst ein Fluſs, welchen man an einigen Stellen sieht, und stark rauschen hört. Würde dieser sich einen neuen Weg bahnen, so gäbe das jetzige Bette wieder einen solchen höhlenartigen Gang. 38. Die *Höhle bei Friedrichshall* (gleichfalls in Norwegen) habe ich in den neueren Reisebeschreibungen nicht erwähnt gefunden, und die älteren erhalten Nachrichten, welche nicht wohl glaublich sind[1]. In einem Felsen gehen nämlich drei Löcher hinab, etwa 4 F. im Umkreise haltend, deren zwei sehr tief sind, das dritte aber soll unergründlich seyn, indem das Geräusch eines hineingeworfenen Steines nach 1,5 bis 2 Minuten noch gehört wurde, welches nach den Gesetzen des Falles und der Schallfortpflanzung (den Widerstand der Luft gegen fallende Körper vernachlässigt) gegen 38 bis 58 Tausend F. Tiefe gäbe.

In den Sibirischen Gebirgen sind eine Menge Höhlen. Einige derselben beschreibt Pallas[2], als 39. Die *Petrowerhöhle*, in einem vom Bache Kutra allmälig ausgehöhlten Gypsfelsen, desgleichen die Höhlen 40. von *Samara*, 41. von *Kostytschi* und 42. von *Pustilnoi-Buierak* an der Wolga, welche gleichfalls durch das Wasser ausgewaschene Räume zu seyn scheinen. Die groſsen Höhlen 43. von *Owsianka* und 44. von *Birjusiaska* am Jenisei beschreibt Gmelin[3]; und auſserdem läſst sich mit höchster Wahrscheinlichkeit annehmen, daſs jene nordasiatischen Gebirge noch eine groſse Menge interessanter Höhlen enthalten, welche groſsentheils noch gar nicht beschrieben sind.

Auſser den schon erwähnten Höhlen in Krain finden sich noch verschiedene interessante in den Oestreichischen Staaten. Dahin gehört hauptsächlich 45. die *Veteranische Höhle* im Temeswarer Bannat am linken Ufer der Donau unweit Orsowa. Sie hat ihren Namen vom General, Grafen Veterani, welcher sie 1692 mit Oesterreichischen Truppen besetzt hielt; vorher hieſs sie *Piscabora* oder *Biscabara*. Im Jahre 1788 vertheidigte sich der Major Stein abermals mit Oestreichischen Truppen in derselben sehr tapfer gegen die Türken, und sie ist in dieser Hinsicht höchst wichtig, weil sie die dort nur 140 Klafter breite Donau beherrscht, über deren Spiegel sie etwa 12 F. erhaben

1 Pontoppidan Versuch einer natürl. Historie Norwegens. I. 101.

2 Reisen Th. I.

3 Reisen Th. IV. 373. der Göttinger Sammlung neuer Reisen.

Digitized by Google

ist. Sie ist 16 Klafter lang, 12 breit und 10 hoch, ist mit einer Küche, Cisterne u. s. w. versehen, und kann 700 Mann aufnehmen. Am entgegengesetzten Ufer steht eine Tafel mit einer römischen Inschrift, aus den Zeiten Trajan's. Hieraus und aus sonstigen verschiedenen Alterthümern hat man geschlossen, sie sey von den Römern ausgegraben, was aber der Augenschein widerlegen soll[1]. 46. Die *Höhlen bei Aggtelek* sind ungemein geräumig, so daſs man bereits mehr als eine Meile weit darin vorgedrungen ist, ohne das Ende derselben zu erreichen. Einen Fluſs, einen See, viele Tropfſteingebilde, hohe Wölbungen, enge Gänge u. s. w. hat sie mit den meisten gröſseren Höhlen gemein, indeſs findet man auch Menschenschädel darin, und hat die Sage, diese rührten von einem Truppen-Corps her, welches sich hineingerettet habe, durch den Rauch des von den Feinden in den Oeffnungen angezündeten Feuers aber erstickt sey. 47. Drei Meilen von Brünn bei Kiritein ist die *Wepustek*, eine Höhle mit vielen geräumigen Wölbungen, zu denen man aber nur durch einen sehr engen Gang gelangt. Aus diesem Grunde ist das Besuchen derselben mühsam und auſserdem gefährlich, weil viele Abgründe in ihr bloſs mit einer dünnen Decke Tropfſtein bedeckt sind. 48. Früher war der Zugang zu der *Beziskala* in der Nähe von Josephsthal gleichfalls sehr enge, viele herabhängende, den Einsturz drohende Felsstücke machten das Besuchen gefährlich und über einen in ihr befindlichen Teich konnte man nur gebückt in einem Kahne sitzend hinwegkommen. Im Jahre 1804 besuchte die Kaiserin sie in Begleitung des Fürsten von Liechtenstein, bei welcher Gelegenheit sie mit mehr als 1000 Lampen erleuchtet, vorher aber geebnet, mit Stufen versehen und für den Besuchenden bequem gemacht wurde. 49. Die *Höhle bei Sloop*, zur Herrschaft Raiz gehörig, ist die gröſste unter den Mährischen. Sie hat eine geräumige und bequeme Vorhalle, weiterhin aber die den meisten Höhlen gemeinen Abwechselungen groſser Gewölbe mit engen Gängen, Erhöhungen, Vertiefungen u. s. w. aber schmutzige und unförmlich gestaltete Tropfſteingebilde[2].

---

1 S. Zeitschrift für Oest. V. 97. Vergl. J. G. Sommer Gemälde der physischen Welt. Prag 1820 ff. VI Vol. 8. II. 234.

2 Chr. K. André Uebersicht der Gebirgsformationen in Mähren. Brünn 1804. 4.

50. Die *Höhle auf Antiparos* zeichnet ſich nicht ſowohl durch ihre Gröſse als vielmehr durch die Schönheit ihrer Tropfſteingebilde aus. Sie wird von den alten Schriftſtellern nicht erwähnt; i. J. 1663 beſuchte ſie aber der Marquis von Nointel, franzöſiſcher Geſandter bei der Pforte[1], genau beſchrieben und als wunderſam prachtvoll geſchildert wurde ſie aber von Tournefort, welcher ſie i. J. 1670 beſuchte[2]. Er wurde zwar von Choiseul-Gouffier, welcher ſie ein Jahrhundert ſpäter in Augenſchein nahm, der Uebertreibungen beſchuldigt, aber dennoch muſs ſie im Innern höchſt intereſſant wegen ihrer ſchönen Tropfſteinfiguren ſeyn[3]. Sie iſt etwa 250 F. tief, vom Eingange an gerechnet, 300 F. lang, eben ſo breit und 80 F. hoch. Die Tropfſteingebilde ſtellen Früchte, Blätter, Feſtons u. ſ. w. bis zur täuſchendſten Aehnlichkeit vor, und ſind von einer blendend weiſſen Farbe. Insbeſondere zeichnet ſich ein in der Mitte derſelben ſtehender, ſchön verzierter Altar aus, bei welchem der Marquis von Nointel, welcher 1663 mit einer Geſellſchaft von faſt 500 Perſonen 3 Tage darin verweilte, Meſſe leſen lieſs. Eine Säule von 7 F. Höhe und 1 Fuſs Dicke ſoll durchſichtig ſeyn. Der ſtark durchſcheinenden Tafeln giebt es übrigens ſehr viele, und Traperien, welche den künſtlichen vollkommen gleichen. Es ſcheint hiernach, daſs der Tropfſtein ſich zu wirklichem Kalkſpathe bildet.

America hat der Höhlen eine groſse Menge und viele von ungewöhnlicher Ausdehnung. Die vorzüglichſten und bekannteſten derſelben ſind 51. *Wäkon-Tibe* oder Wohnung des groſsen Geiſtes am Miſſiſſippi, mit einem niedrigen und nicht breiten Eingange, und einem See, deſſen Ende noch nicht erreicht iſt. 52. Die durch Jefferson beſchriebene *Maddiſon's Höhle* in Virginien iſt nur eine von den vielen in jenem Landſtriche[4]. Eine der gröſsten bekannten Höhlen aber iſt 53. die *Baker's Höhle*, bei Livington in Nordamerica, von ihrem Entdecker benannt, welcher faſt mit ſeiner Familie darin umgekommen wäre, als ihm das Licht verlöſchte, und er bis zum zwei-

---

1 Rosenmüller a. a. O. II. 80.

2 Reiſe nach der Levante d. Ueb. I. 290.

3 Reiſe durch Griechenland. Aus den Fr. Gotha 1780. Vergl. Ritter a. a. O. II. 65.

4 Sprengel's Beiträge zur Länder- und Völkerkunde. VIII. u. IX.

Digitized by Google

ten Tage darin herumirrte, bis er endlich nur durch einen Zufall den Ausgang wiederfand. Sie hat zwei Eingänge, welche 646 Yards von einander liegen und für Pferde und Wagen zugänglich sind. Ihr Gewölbe ist fast flach, auch ist sie ohne Stalaktiten und nur durch die Weite der Räume und die übereinander gelagerten Felsenstücke interessant. In der Stille des Winters hört man vernehmlich das Rauschen eines in der Entfernung befindlichen Wasserfalles. Die Temperatur in derselben ist unverändert 9 bis 10° R., aber an einem etwa 60 F. vom Eingange befindlichen Platze herrscht stets eine unangenehme Wärme[1]. 54. Eben so groſs, wo nicht die gröſste unter allen bekannten ist die Höhle im Gebiete Warren County der Provinz Kentucky, welche durch Ward besucht und genau beschrieben ist[2]. Sie besteht aus mehreren Abtheilungen, welche wegen ihrer Gröſse *city's* (Städte) genannt werden. Man geht zuerst 6 engl. Meilen vom Eingange aus durch einen Felsengang, und kommt dann an die Hauptstadt (*chief city*), einen ungeheueren Raum, dessen Gewölbe durch keinen Pfeiler unterstützt ist. Von hieraus laufen 5 Gänge in die kleineren Abtheilungen, welche insgesammt durch verschiedene andere Gänge mit einander verbunden sind, so daſs man aus den 5 und mehreren kleineren Abtheilungen auf verschiedenen Wegen wieder in den Hauptraum gelangt. Ward bedurfte 19 Stunden zu seiner unausgesetzten Wanderung, ohne daſs er dennoch alle Abtheilungen untersuchen konnte. Es wird in derselben vieler Salpeter gewonnen. Rücksichtlich der in ihr enthaltenen Salze ist schwerlich irgend eine Höhle merkwürdiger, als die 55. dem Benjamin Adams zugehörige in Indiana. Sie besteht aus mehreren durch enge Gänge verbundenen Gewölben, in deren einem unter andern eine colossale Säule von 15 F. Durchmesser und 20 bis 30 F. Höhe die Aufmerksamkeit im höchsten Grade in Anspruch nimmt. Merkwürdiger aber ist, daſs dieselbe, in einem Kalkberge befindlich, eine unerschöpfliche Menge von Salzen darbietet, womit Boden und Wände geschwängert sind, und die deswegen bis zu sehr dicken Lagen efflorescirен. Sie bestehen hauptsächlich aus sehr reinem Bittersalz, aus salpetersaurem Kalke und salpetersaurem Thone. Wer-

1 Mon. Cor. 1812. Sept. 238.

2 Neue allgem. geogr. Ephemeriden I. 4. S. 504.

Digitized by Google

den die auf der Oberfläche befindlichen Lager weggenommen, so erzeugen sie sich in wenigen Wochen wieder[1]. Von auſserordentlicher Gröſse und bei weitem noch nicht ganz untersucht ist ferner 56. Die *Watertown - Höhle.* Sie enthält eine unglaubliche Menge Wölbungen, welche fast überall mit den schönsten blendend weiſsen Tropfsteingebilden geziert sind[2]. 57. Die Höhle bei Quertlavaca in Neuspanien konnte noch nicht bis an ihr Ende untersucht werden. Einzelne Abtheilungen derselben enthalten interessante Tropfsteingebilde. In vieler Hinsicht vorzüglich merkwürdig ist 58. die durch v. Humboldt[3] beschriebene *Cueva di Guacharo* oder *Caripe* unweit Macarapana. Der Eingang derselben ist durch die üppigste Vegetation geziert, und da sie selbst eigentlich aus einem weiten, wenig gekrümmten Gange besteht, so wird sie bis auf 430 F. weit vom Tageslichte erhellt, und die Vegetation erstreckt sich bis 40 F. weit in dieselbe. Ausgezeichnet ist sie durch den Umstand, daſs Tausende von Nachtvögeln, *Guacharo* genannt, den gemeinen Hühnern an Gröſse gleichend, sie zu ihrem Aufenthalte gewählt haben, und deren durchdringendes Geschrei einen ungeheuern Lärm verursacht, wenn sie durch den Schein der Fackeln beunruhigt werden.

Um Johannis pflegen die Bewohner jener Gegend die Nester mit langen Stangen zu zerstören und Tausende der Vögel todt zu schlagen, um das Fett derselben zu erhalten, welches insbesondere bei den jungen in groſser Menge unter dem Bauchfelle enthalten ist, sogleich ausgesotten und in gläsernen Flaschen zum Bereiten der Speisen aufbewahrt wird. Das Geschlecht dieser Vögel würde längst ausgerottet seyn, wenn nicht viele ihre Nester in die entfernteren Räume der Höhle baueten, wohin man nicht kommen kann, und wohin zu dringen die Indianer durch Aberglauben abgehalten werden, weil sie dieselben für den Aufenthaltsort böser Geister halten. In der Höhle flieſst ein 28 bis 30 F. breiter Fluſs, an dessen Ufern man hingeht, und welcher etwa 2 F. tief in der Richtung der Höhle fortflieſst. Letztere bleibt bis auf 1450 F. bei gleichbleibender Höhe und Weite derselben von unveränderter Richtung. In dieser Entfernung aber steigt man etwas in die Höhe, der Fluſs hat einen kleinen Wasserfall, die Höhle wird enger, nnd es ist

1 Edinb. Phil. Journ. Nr. XI. pag. 29.
2 Phil. Mag. LX. 71.
3 Reisen. d. Ueb. II. 105.

merkwürdig, daſs dort die herabgefallenen Früchte, welche die Guacharos hineingetragen haben, in der fruchtbaren Erde bis zwei Fuſs hohe Keime treiben. Die Engigkeit der Höhle hinderte v. Humboldt und Bonpland weiter vorzudringen, insbesondere aber lieſsen sich die Indianer nicht zum weiteren Verfolgen des Ganges bewegen; ein Geistlicher soll jedoch schon bis 2500 F. gekommen seyn, ohne das Ende zu erreichen.

Verschiedene minder bekannte und noch nicht hinlänglich genau beschriebene Höhlen glaube ich hier übergehen zu können, als die auf den Inseln Elephanta und Salsette in Ostindien, letztere die *Höhle von Ambola* genannt, die bei Kiang, die mehreren des Berges Tientcho bei der Stadt Hang-Tcheu, die Phoanga-Höhlen in Junk-Ceylon, die im Sagat-Felsen [1], *die Höhle van Booban* bei Punduah in den Cossyah-Bergen [2] u. v. a.

Die meisten der genannten Höhlen zeichnen sich durch die *Tropfsteingebilde* aus, über deren Entstehung Parrot [3] die deutlichste Auskunft giebt. Das Wasser, welches den Tropfstein bildet, ist vollkommen hell, farblos und wohlschmeckend, und zeigt sich in gröſserer Menge nach nassen als nach trocknen Jahren. Aus demselben fällt nur eine sehr geringe Menge Kalkstein nieder, welche indeſs hinreicht, in Jahrhunderten bedeutend groſse, mitunter wahrhaft colossale, Massen zu bilden. In denjenigen Höhlen, über denen keine Vegetation stattfindet, trifft man gar keinen oder nur unbedeutend wenigen Tropfstein, theils weil die Vegetabilien eine gröſsere Menge Wasser aus der Atmosphäre anziehen, theils und hauptsächlich weil die aus den modernden organischen Resten gebildete Kohlensäure zur Auflösung der Kalkerde beiträgt. Verdunstet das hiermit gesättigte, unausgesetzt herabtröpfelnde, Wasser allmälig, so fällt die Kalkerde nieder, und bildet den Tropfstein. Ist die obere Decke der Höhlen locker, so wird etwas Farbestoff mit filtrirt, welcher meistens aus etwas Eisenoxydhydrat oder aus Kohlenstoff besteht, und eine röthlich-gelbe oder schwärzliche Farbe giebt. Weil aber das Wasser zu verschiedenen Zeiten gar keine oder ungleiche Mengen von Farbestoff enthält, so entstehen marmorartige Tropfsteinge-

1 Ueber beide letztere s. Edinb. Journ. of Sc. XIII. 57.
2 Ebend. XV. 54.
3 Theoretische Physik. III. 89.

bilde vom glänzendsten Weiſs bis zum dunkelen Grau. Namentlich ist dieses der Fall bei der *Bredewinder Höhle* in der Oberpfalz, deren zahlreiche Tropfsteinpfeiler marmorartig bunt sind.

59. Insofern der Basalt ein vulcanisches Product ist, können auch die aus diesem Gesteine gebildeten Höhlen unter die vulcanischen gerechnet werden. Fs giebt deren eine nicht geringe Menge, jedoch nicht von so bedeutender Gröſse als die bisher beschriebenen, vor allen aber verdient hier nur die prachtvolle *Fingalshöhle* auf der Hebridischen Insel Staffa genannt zu werden, welche von so vielen Reisenden mit gröſstem Erstaunen und mit Bewunderung ihrer höchst romantischen Lage und gigantischen Formen betrachtet und beschrieben ist[1]. Sie heiſst in der gälischen Sprache *an-ua-vinc* (Grotte-wohlklingende) von dem starken Wiederhalle, welcher in ihr herrscht. Man gelangt zu ihr über einen Meeresarm, welcher bei bewegter See stark brandet und nicht ohne Gefahr beschifft wird. Sie erhebt sich an den meisten Stellen unmittelbar aus dem Meere, walches in derselben am Eingange 18 F., am Ende 9 F. Tiefe hat, besteht aus lothrechten, majestätischen, sechsseitigen Basaltsäulen, und ist mit einer starken Lage Dammerde und zahlreichen eingemengten Stücken von Basaltsäulen überdeckt. Nur bei ruhiger See kann man mit einem Nachen in die Höhle hineinfahren, und einen auf abgebrochenen Basaltsäulen gebildeten Fuſssteig betreten. Sie ist 250 F. tief, am Eingange 53 F. am hinteren Ende 20 F. breit, dort beträgt die Höhe 117, hier 70 F. Sie wurde zuerst 1772 bekannt durch Banks[2], nachher besuchte sie Faujas de St. Fond und gelangte bis in ihr hinteres Ende[3], seitdem ist sie von vielen Reisenden besucht, welche durch die Merkwürdigkeiten jener romantischen Gegenden angelockt wurden, und zwar nur selten in ihren Eingang gelangten, dennoch aber durch den Anblick des majestätischen Gebäudes und das Wellenspiel des tobenden und brandenden Meeres bezaubert wurden.

60. Eine ganz eigentliche vulcanische Höhle ist die *Surt-*

1 Vergl. Art. *Erde*. Th. III. S. 1096. Fig. 185.

2 A Tour to Scotland and Voyage to the Hebrides. Chester 1774. 4. p. 261.

3 Ritter a. a. O. I. 105.

Digitized by Google

*höhle* auf Island. Sie liegt mitten auf der Insel in der sogenannten Wüste, und besteht aus einem groſsen, durch eine dikke Lage erhärteter Lava oben bedeckten Raume. Man gelangt in diesen durch eine Spalte in der Lava, trifft mehrere Teiche und ganze Strecken bis 8 F. dickes, vollkommen helles Eis, groſse Blöcke von Lava, herrlich krystallisirte Eismassen als Tropfsteingebilde geformt, welche beim Fackelschein das schönste Farbenspiel zeigen, die Decke und Wände bestehen aus schwarzer, mitunter grüner Lava. Alle die zahlreichen weiten Räume der Höhle zu durchwandern würde zu ermüdend und wegen der darin herrschenden Feuchtigkeit und Kälte zu angreifend seyn, weswegen die seltenen Reisenden in jener Gegend nur kurze Zeit darin verweilen, um einen Ueberblick des groſsen Gebildes zu erhalten. Uno von Troil hat dieselbe besucht und zwei Stücke Geld hineingelegt, wovon Henderson noch eins fand und eins dazu legte[1]. 61. Dieser ähnlich, aber der Beschreibung nach von geringerer Ausdehnung, ist die *Lavahöhle auf St. Michael.* Sie besteht aus drei sehr geräumigen Hallen, deren Höhe so bedeutend ist, daſs die obere Wölbung durch das Licht der Fackeln nicht erhellet wird. Da wo das Gewölbe herabgeht, und die engen Zwischengänge bildet, hängen eine Menge Zapfen von sehr poröser Lava herab, welche erst weggebrochen werden muſsten, ehe man hindurchkriechen konnte[2].

Die Temperatur in den Höhlen ist ohne Einwirkung örtlicher Ursachen die mittlere der Gegenden, worin sie sich befinden, und bei den tieferen unverändert dieselbe, weswegen sie im Sommer sehr kalt, im Winter dagegen sehr warm zu seyn scheinen. Es giebt indeſs solche, in denen eine ungewöhnliche Wärme herrscht, mehrere aber, deren Temperatur beträchtlich unter der mittleren des Ortes ist, und welche man wegen des vielen darin enthaltenen Eises auch *Eishöhlen* zu nennen pflegt. 62. Im Ural unter andern, bei Tabinsk im sogenannten Eisberge (*Ledjänaia-Gora*) fand Lepechin[3] eine ungemein groſse Höhle, wozu er sich den Zugang erst durch Eis bahnen muſste. Er fand darin viele Erdfälle, Teiche, Tropfsteinfigu-

1 S. Olafsens Reise. I. 127. Henderson Island II. 197.

2 Edinb. Journ. of Science. XVI. 416.

3 Tagebuch einer Reise durch d. Russ. Reich. Th. II.

Digitized by Google

ren u. s. w. Mehrere groſse Gewölbe derselben stehen durch schmale Gänge mit einander in Verbindung. An einigen Stellen entdeckte er lothrechte Röhren im Berge, aus denen Wasser herabfiel, die sich an 100 Lachter in dem Berge aufwärts erstreckten, und wahrscheinlich von dem Wasser almälig ausgewaschen waren. Eine Kammer 160 Schritte lang und 30 breit, und eine andere noch gröſsere halten vieles Eis und zugleich klares Wasser. Die Einwohner versicherten, daſs die Höhle sich noch zehn Werste weiter erstrecke, als bis wohin Lepechin vorgedrungen war.

Eine der gröſsten aber wenig bekannten Eishöhlen ist
63. das *Schafloch* im Berge Rothhorn. Sie liegt in einer Höhe von mehr als 5000 F. über dem Meeresspiegel, ist etwa 100 F. breit bei 40 F. Höhe, hat im Ganzen die Form eines Z, und würde etwa 10 Minuten Zeit erfordern, um ans Ende zu kommen, wenn man überall ebnen Fuſses in ihr gehen könnte. Am merkwürdigsten in ihr sind die ungeheuern Eismassen, welche sich auf dem Boden von dem stets herabtropfenden Wasser erzeugen, da anfangen, wo der schwächste Schein des hereinfallenden Lichtes noch wahrnehmbar ist, und sich bis an das äuſserste Ende erstrecken. Dufour fand die Temperatur überall in der Höhle 3° R. selbst nicht weit vom Eingange in demjenigen Raume, wohinein die Schafe bei brennender Sonnenhitze oder zur Sicherung gegen Ungewitter getrieben werden, wovon sie den Namen hat[1].

64. Eine der bekanntesten Eishöhlen ist die in einem Felsen bei Besançon, welche schon lange die Aufmerksamkeit der Naturforscher auf sich gezogen hat[2]. Das Thermometer steht in ihr das ganze Jahr unverändert auf dem Gefrierpuncte, dennoch aber schmelzen in ihr im Octob. und Nov. die Eispyramiden, welche im August noch an Umfang zunehmen oder entstehen. Sie ist etwa 370 F. lang und in ihrer gröſsten Ausdehnung ohngefähr eben so breit. Die Entstehung des Eises in ihr leitete man früher von kalten Luftströmungen ab, wogegen sich aber schon Prevost[3] erklärte, indem er mehr geneigt war, die

---

1 Edinb. Phil. Journ. N. XVI. 290.

2 S. Cossigny in Mém. présantés à l'Acad. par les Savans étrang. Par. 1750. I. 195. De Saussure Voy. §. 1404 — 15. Pictet in Bibl. univ. XX. 261.

3 Journ. de Genève. 1789. Mars.

Höhle für einen natürlichen Eiskeller zu halten, in' welchem die Kälte im Winter so viel Eis erzeuge, daſs die Wärme in den Sommermonaten dasselbe wegzuschmelzen nicht vermöge. Sehr genau hat später J. A de Lüc[1] nicht bloſs diese Höhle mit ihrer ganzen Localität untersucht, sondern auch 65 die von *St. George* über Rolles im Canton Vaud, desgleichen 66. die von *Mont Vergi* in Faucigny, und jener genaue Beobachter hat nachgewiesen, daſs ein kalter Luftstrom die Erzeugung des Eises nicht bewirken könne, weil ein solcher überall nicht darin vorhanden sey. Vielmehr sind diese Höhlen durch ihre Lage gegen den Einfluſs der Sonnenstrahlen und der warmen feuchten Luftströmungen geschützt, und aus diesem Grunde gleichen sie natürlichen Eiskellern. Unter diese Classe gehört 67. die durch Pictet[2] beschriebene *Eishöhle von Hergishwyl* in Unterwalden, desgleichen 68. eine dieser ähnliche bei *Fondeurle* im Departement der Drôme nördlich von Dié[3]. 69. Eine kleine *Höhle bei Dole* ist wegen ihrer groſsen und wunderbar gestalteten Eispfeiler berühmt, allein mir ist keine so genaue Beschreibung bekannt, als erforderlich wäre, um die Ursache der Eisbildung bestimmt anzugeben. 70. *Die Höhle am Brandsteine* in der sogenannten Gems in Steiermark bin ich geneigt der Beschreibung nach gleichfalls für eine eigentliche Eishöhle zu halten[4]. Man steigt auf dem Berge in die hohen und kalten Regionen, kommt dann an einen von dichtem Nadelholze beschatteten Ort, wo ein Schlund zu dieser, mit einer unglaublichen Menge von Eis gefüllten Höhle führt. Das aus dem schmelzenden Eise gebildete Wasser verläuft sich in den Felsspalten des Berges. Wenn die Höhe dieser Höhle nur 1800 F. über der Meeresfläche beträgt, wie Sartori angiebt, und das Eis derselben im Sommer erzeugt wird, im Winter dagegen wieder schmelzt, so würde sie zu der nachfolgenden Classe zu zählen seyn, allein ob sie bei dem beschwerlichen Zugange im Winter oft genug besucht ist, um hierüber urtheilen zu können, wage

---

1 Ann. de Chim. et de Phys. XXI. 113.

2 Bibl. univ. XXVII. 287.

3 Edinb. Phil. Journ. N. III. p. 80. Vergl. Journ. des Mines XXXIII. 157.

4 Neueste Reise durch Oesterreich ob und unter der Ens u. s. w. von Sartori. Wien. 1811. III Vol. 8. I. 186.

ich nicht zu entscheiden, vielmehr scheint sie mir der Beschreibung nach ein eigentlicher Eiskeller zu seyn, in welchen so viel Schnee im Winter zusammengewehet, und bei der wechselnden Frühlingswitterung durch herabträufelndes Wasser wegen der in ihr noch fortdauernden Winterkälte in Eis verwandelt wird, daſs die Sommerwärme dasselbe nicht zu schmelzen vermag. Die Erhöhung der Temperatur in den weiten und tiefen Klüften durch die Sommerwärme tritt aus leicht begreiflichen Gründen erst im Spätherbste ein, was bei der Erklärung allerdings berücksichtigt werden muſs.

71. Oestlich von Vesoul ist eine kleine Höhle mit einem Bache. Das Wasser des letzteren und das herabträufelnde erzeugt in einem kalten Tage so viel Eis, als in 8 warmen kaum geschmolzen wird, und daher ist die Menge desselben in ihr unglaublich groſs. Im Winter soll der Bach von Eise frey seyn, und sie hätte hiernach also Aehnlichkeit mit der berühmtesten dieser Art, nämlich 72. der *Höhle bei Scelicze* in Ungarn. Diese ist in einem Felsen in einer unfruchtbaren Gegend gebildet, mit einer 18 Klafter hohen und 9 Klafter breiten, nach Süden gerichteten Oeffnung. Von der Decke derselben tropft stets Wasser herab und sammelt sich auf dem Boden zu einem kleinen, aus der Höhle flieſsenden Bächelchen. Hierbei findet dann die Eigenthümlichkeit statt, daſs dieses Wasser im Sommer zu mehr als mannsdicken, in viele Zacken sich verästelnden, Eiszapfen gefriert, ja sogar auch daſs das auf den Boden tröpfelnde in Eis verwandelt wird, dessen Menge so groſs ist, daſs man sie zu 600 Wagen voll anschlägt. Im Winter wenn anderwärts die Kalte Eis erzeugt, fängt das in der Höhle befindliche an aufzuthauen, die Luft in derselben wird warm, zieht eine Menge Mücken, Fliegen, Fledermäuse und Nachteuleu herbei, sogar auch Hasen finden sich ein, welche das am Eingange neben dem flieſsenden Wasser wachsende Gras suchen[1]. Der vordere bis jetzt genauer bekannte Theil der Höhle ist 30 Lachter tief und 26 breit, die verschiedenen Abtheilungen aber sind nicht alle von gleicher Höhe, und auſserdem steht sie mit vielen weiten und tiefen Schlünden in Verbindung, deren Ausdehnung nach dem Wiederhalle eines abgeschossenen Gewehrs zu urtheilen sehr groſs seyn muſs, bis jetzt aber der groſsen, mit dem

1 S. Windisch Geographie von Ungarn. Presburg. 1780.



Digitized by Google

Herabsteigen auf dem glatten Eise verbundenen Gefahr wegen nicht untersucht werden konnten.

Die allerdings auffallende Eigenthümlichkeit dieser Höhle beruhet ohne Zweifel auf den nämlichen Gründen, als welche die Erscheinungen der *Aeolushöhlen* hervorbringen, deren es eine Menge, hauptsächlich in Italien, giebt, nämlich kleinere oder gröſsere, meistens durch lockeres Gestein verschlossene und mit solchem angefüllte Räume, aus denen im Sommer stets ein kalter Luftstrom dringt. Die Italiäner erbauen an solchen Stellen Grotten, in welche die kalten Luftströme flieſsen, und die daher in heiſsen Sommern einen angenehm kühlen Aufenthalt gewähren.

73. Auf eine interessante Weise zeigt sich dieses Phänomen am *Monte Aeolo* bei Terni im Kirchenstaate. Dort befindet sich eine Höhle, deren Eingang ein altes Thor verschlieſst, durch dessen Spalten der Wind stets mit hörbarem Rauschen dringt. Die Höhle erweitert sich, so wie man tiefer in sie eindringt, und dort bemerkt man einen Eingang zu einer zweiten Höhle, aus welcher der Luftstrom kommt, welcher nach der Beobachtung von Mathiews so stark ist, daſs er bei geöffnetem vorderen Thore die Fackeln ausbläst. Die entfernteren, mit dieser Höhle in Verbindung stehenden Abgründe und Felsenklüfte sind noch nicht untersucht[1]. Verschiedene solche Aeolushöhlen befinden sich 74. am Monte Testaceo unweit Rom, welche schon Nollet[2] untersuchte, und die Temperatur des Luftstromes im September 1749 = 9°,5 R. fand, de Saussüre[3] dagegen im Juli 1773 zwischen 5°,25 und 8°. Letzterer hat viele andere in Italien selbst untersucht oder durch fremde Nachrichten kennen gelernt, als 75. die *Ventaroles* zu Ottaiano am Fuſse des Vesuvs, die Ventarola della Funera auf Ischia, die kalten Höhlen von St. Marino, von Cesi, die Cantines oder kalten Höhlen von Chiavenna, von Caprino am Luganersee, und von Hergishwyl oder Hergisweil in Unterwalden. Von der Art ist auch 76. die Grotte von Roquefort, welche Chaptal[4] beschreibt, und sicher werden in den Reise-

1 Vergl. Volkmann's hist. krit. Nachrichten von Italien. III. 374.
2 Mém. de l'Ac. 1749. p. 486.
3 Voyages. V. 342.
4 Ann. de Chim. IV. 31.

beschreibungen noch viele andere genannt, deren Kunde noch nicht ganz so allgemein verbreitet ist. Nach v. Saussüre liegt die Ursache dieser im Sommer so kalten und im Winter warmen Luftströmungen darin, daſs mit den Aeolushöhlen groſse unterirdische Räume in Verbindung stehen, in denen die Luft im Sommer durch den Einfluſs der Wärme ausgedehnt wird, aber nur wenige Grade über ihre sehr niedrige Temperatur, und daſs sie also vermöge der Vergröſserung ihres Volumens ausströmt, woraus dann folgt, daſs im Winter die Luft wieder eingesogen wird. Die niedrige Temperatur der an sich schon kalten, zur Winterzeit eingezogenen Luft geht nach seiner Ansicht dadurch noch mehr herab, daſs sie durch die feuchten, locker zusammengeschichteten Steine der Oeffnungen geblasen wird, und in Folge der bewirkten Verdampfung einen Theil ihrer Wärme abgiebt. De Saussüre gründete diese Erklärung auch noch auf das Argument, daſs die Luft im Anfange des Sommers bedeutend kälter als später am Ende desselben gefunden wurde. Nicholson[1] widerlegt diese Erklärung dadurch, daſs sie auf der willkürlichen Annahme so groſser unterirdischer Räume beruhe, deren Daseyn noch gar nicht erwiesen sey, und in denen bei ihrer Tiefe durch den Einfluſs der Sommerwärme nicht füglich eine solche Veränderung der Temperatur bewirkt werden könne. Auſserdem müſsten diese Höhlen von ganz ungeheurer Gröſse seyn, wenn die geringe Vermehrung des Luftvolumens durch wenige Grade der Temperaturerhöhung hinreichen solle, den ganzen Sommer hindurch das stete Ausströmen zu unterhalten. Diese Gründe sind allerdings von der Art, daſs sie die Hypothese sehr wankend zu machen vermögen, und wenn es auch Höhlen gäbe, aus denen die kalte Luft in Folge der Ausdehnung der gesammten in ihr enthaltenen, Luftmasse strömte, so wären die Erscheinungen der Eisbildung im Sommer und des Aufthauens desselben im Winter, wie die Höhle bei Scelicze sie darbietet, hieraus nicht erklärlich, indem die im Winter von Auſsen eingesogne kalte Luft vielmehr gleichfalls Eisbildung verursachen müſste. Parrot[2] sucht die Ursache in der Verdunstung, indem nasse Höhlen stets Wasserdampf bilden und hierdurch sehr abgekühlt werden sollen, wobei dann die Vermin-

1 Journ. of Nat. Phil. 1797. N. 5.

2 Theoretische Phys. III. 93. Entretiens sur la Phys. V. 364.

derung der Temperatur so viel ſtärker iſt, je begieriger die äuſsere warme und trockne Luft den gebildeten Waſſerdampf aufnimmt. Es läſst ſich hiergegen aber einwenden, daſs die meiſten Höhlen, auf allen Fall die ſämmtlichen Tropfſteinhaltigen, ſehr feucht und mit verſchieden geſtalteten Oeffnungen verſehen ſind, dennoch aber haben ſie die mittlere Temperatur ihrer Gegend unveränderlich. Auſserdem wird die Luft in ſolchen Höhlen ſtets im Maximo mit Waſſerdampf geſättigt, und wenn warme Luft in ſie dringt, ſo wird in dieſer der Dampf condenſirt, anſtatt daſs neuer erzeugt werden ſollte, die eindringende kalte Luft aber kann nur eine geringe Menge Waſſerdampf aufnehmen, und daher die Temperatur nicht bedeutend herab bringen, ein Zuſtrömen der Luft iſt aber nothwendig erforderlich, wenn die mit Waſſerdampf geſättigte Luft ausſtrömen und ſomit der ſchon mit Abſorption von Wärme gebildete Dampf entweichen ſoll. Mehr möchte ich daher geneigt ſeyn, mit Nicholson[1] das Phänomen aus einer ſteten Luftſtrömung zu erklären. Denkt man ſich nämlich groſse Lufträume, in denen bei fehlendem Einfluſſe einer Erwärmung durch die Sonnenſtrahlen die Luft an ſich ſchon ſehr erkaltet iſt, und nimmt an, daſs ſie zwei Oeffnungen haben, aus deren einer die Luft ausflieſst, während hiernach an einer anderen Stelle ein Einſtrömen ſtattfinden muſs, ſo wird im Winter die kalte Luft eindringen, vermöge ihres Gewichtes niederſinken, die erwärmte dagegen ausflieſsen, bis ſie mit der kalten ganz erfüllt iſt. Nicholson zeigt, daſs die Quantität derſelben leicht den ganzen Winter hindurch ausreicht, bis die angehäufte Menge derſelben im Sommer wieder zum Ausſtrömen kommt, und dann die Eisbildung bewirkt.

Parrot[2] giebt eine Demonſtration dieſer Hypotheſe. Sind Fig. 91. nämlich A und B die beiden Oeffnungen einer ſolchen Höhle, ſo iſt die Luftſäule A C im Sommer leichter als die durch den Winterſchnee ſehr erkaltete E G D B, letztere muſs daher durch die Oeffnung A ausſtrömen, im Winter dagegen müſste eine umgekehrte Strömung eintreten. Bei manchen Aeolushöhlen mag allerdings ein ſolcher Wechſel ſtattfinden, allein die Erſcheinungen, welche die Höhle bei Scelicze und ähnliche darbieten, ſind hieraus nicht erklärlich, weil ſie eine ſtete Strö-

1. a. a. O.

2. Theoretiſche Phyſik. III. 98.

mung aus A, und zwar im Sommer eine kalte, im Winter eine warme erfordern. Dieses wäre nur dann möglich, wenn man annehmen wollte, die kalte Luſt sey im Winter in der Richtung BDFL herabsinkend, die wärmere in der Höhle werde verdrängt und entweiche aus A um so leichter, weil die Höhlung, womit die Oeffnung A überbauet ist, stets wärmere Luſt enthält. Gänzlich widerlegen läſst sich eine solche Voraussezzung nicht, da es auch Schornsteine giebt, welche den statischen Gesetzen zuwider stets den warmen Rauch herabsinken lassen; findet man sie aber nicht befriedigend, so lieſse sich annehmen, daſs herabfallendes Wasser die in der Höhle befindliche Luft nach Art einer Wassertrommel stets comprimire und im Winter die angesammelte warme, im Sommer die kalte Luft austreibe. Da es fast unmöglich ist, die Localität solcher Höhlen in ihren einzelnen Theilen genau und vollständig kennen zu lernen, so ist jede Hypothese über die Phänomene, welche sie darbieten, sehr unsicher.

Aus einigen Höhlen strömen mephitische Gasarten, meistens solche, deren spec. Gewicht gröſser ist, als das der atmosphärischen Luft, weswegen sie die niedern Räume jener Höhlen einnehmen, und für die Respiration gefährlich werden, hauptsächlich den Thieren, deren Athmungswerkzeuge dem Erdboden näher sind. Einige solcher Höhlen reihen sich an die Vulcane, indem man bei ihnen ein wirkliches Verbrennen des Schwefels wahrnimmt, oder aus der Menge des entbundenen schweflichtsauren Gases auf einen solchen Proceſs schlieſsen muſs. Dahin gehören hauptsächlich 77. *die Schwefelhöhlen im Berge Budosch* in Ungarn, zwei Meilen von Obertorja. Sie sind nicht groſs, und messen nur wenige Klafter an Breite, Höhe und Tiefe, haben Risse in den Felsen, aus denen heiſser, mit Schwefel gemischter Dampf aufsteigt, auch setzt sich Schwefel an den Seiten an. Die Gasart im Innern derselben und hauptsächlich nahe über dem Boden wirkt sehr erstickend, wird indeſs von solchen, die sich gegen ihren nachtheiligen Einfluſs durch Tücher und sonstige Vorsichtsmaſsregeln sichern, als Heilmittel gegen Haut- und Augen-Krankheiten angewandt, lezteres gewiſs ohne Nutzen. 78. Groſse Aehnlichkeit mit diesen hat *die Höhle auf Guadaloupe*, welche zuerst Peyssonell, nachher l'Herminier untersuchen wollte, allein die Menge des aus ihr hervordringenden kohlensauren und schweflichsauren Ga-

ses ist so groſs, daſs das Vordringen in ihr die gröſste Gefahr bringen würde. In den tieferen Schlünden hört man das Brausen eines brennenden Vulcans[1]. 79. *Die grotta del cane* bei Puzzuole in Italien ist unzählich oft besucht und beschrieben[2]. Sie ist 10 F. tief, 9 F. hoch und 4 F. breit, und man kann von Auſsen gebückt stehend die mephitischen Dünste bis 6 Z. aufsteigen sehen; Fackeln und Lichter erlöschen in ihr, daſs aber Schieſsgewehre in ihr nicht losgehen sollen, ist eine leicht zu widerlegende Uebertreibung. Menschen empfinden, aufrecht stehend, nichts, zuweilen auch dann nicht, wenn sie sich bükken, daſs Hunde darin ersticken, ist nicht zu bezweifeln, jedoch kann es wohl seyn, daſs der Hund des Führers, wie man sagt, darauf abgerichtet ist, jederzeit wie betäubt nieder zu fallen. 80. Aehnlich sind die Höhlen auf der *Insel Milo*, bei *Ribar in Ungarn* und bei *Pyrmont*. Letztere ist eine kleine Grotte in einem Kalkfelsen. Ich habe in ihr, selbst in gebückter Stellung keine Einwirkung des kohlensauren Gases empfunden, jedoch ist es sattsam erwiesen, daſs zuweilen die groſse Menge des aufsteigenden kohlensauren Gases nicht bloſs Hunde bis zum Ersticken, sondern auch Menschen betäubt[3]. Unweit des Lacher See's bei Obermennig ist eine mit mephitischen Gasarten erfüllte Höhle[4], und noch andere sind in den Gebirgen der Eifel[5], wie es deren überhaupt noch viele giebt, welche einzeln zu beschreiben nicht der Mühe werth seyn würde. Ueberhaupt ist das Aufsteigen mephitischer Gasarten aus der Erde, nicht selten mit dem sprudelnden Wasser der Quellen verbunden, eine keineswegs seltene Erscheinung.

Viele Höhlen von unglaublicher Gröſse sind durch Ausgrabungen entstanden. Ohne Zweifel ist dieses nicht der Fall bei dem seit uralten Zeiten bekannten *Labyrinthe auf Creta* oder Candia, dessen verschlungene Gänge zu mancherlei Sagen in den fabelhaften Zeiten Veranlassung gaben. Es besteht aus einer groſsen Menge solcher nach verschiedenen Richtungen lau-

1 Journ. de Phys. LXXXI. 209.

2 Unter andern S. Volkmann's historisch-kritische Nachrichten von Italien. III. 221.

3 S. Marquard's Beschreibung von Pyrmont. II Tom. 1784 u. 85. mit K.

4 S. de Lüc Briefe. II. 95.

5 Schweigg. Journ. N. F. XIII. 28.

fender Gänge, deren Höhe 7 bis 8 F. bei einer Breite von 6 bis 10 F. beträgt. Einige führen zu einer groſsen Halle mit ungeheuren Pfeilern, und laufen von hier aus weiter, mehrere endigen im dichten Felsen, und man muſs in ihnen wieder umkehren; ein krummer Gang führt zu einer schönen Grotte, welche sehr hoch gewölbt ist, und nicht füglich durch Kunst gebildet seyn könnte. Nach Pocoke ist dasselbe durch das Wegbrechen der Steine entstanden, wie die *Latomien* oder Steinbrüche bey Syracus, wogegen aber Tournefort erinnert, daſs die Steine zu weich sind, und sich zum Bauen nicht eignen. Aus der Beschreibung des letzteren, und einer neueren von Sieber[1] mit einer genauen Zeichnung schlieſst Buckland[2], daſs dieses berühmte Naturwunder nichts weiter sey, als eine lange Reihe mit einander verbundener Höhlen, welche den übrigen ähnlich sich im Kalksteingebirge befinden, wie denn überhaupt mehrere solche in den Cretensischen Bergen vorhanden sind. Dabei ist es indeſs sehr möglich, daſs die Kunst etwas nachgeholfen, und einige der groſsen Gewölbe durch Gänge mit einander verbunden hat. Daſs übrigens Steinbrüche zu erstaunenswürdigen Höhlen werden können, beweisen unter andern die im Mont-Martre bei Paris, in denen sich einst zwei Geistliche verirrt haben und umgekommen seyn sollen, noch mehr aber die Sandsteinbrücke im *Petersberge* bei Mastricht. Diese haben einen groſsen stollenartigen Eingang, und einen Hauptweg, welcher über eine Stunde lang zu einer anderen Oeffnung herausführt. Von diesem aus gehen viele groſse Nebenwege nach verschiedenen Seiten, einer nach Tongern, einer nach Lüttich u. s. w. Der Stahlberg im Nassau-Siegenschen, welcher nach einigen 7, nach andern 9 Stockwerke über einander haben soll, lieſse sich gleichfalls zu den künstlichen Höhlen rechnen, vor allen Dingen ist dieses aber der Fall bei den ungeheuern Salzgruben von Wiliczka in Pohlen[3], und den Steinkohlengruben bei Whitehaven.

Endlich gehören auch die künstlichen Höhlungen, welche den alten Völkern zu Begräbniſsplätzen dienten, hierher, kön-

1 In dessen Reise in Creta. 1823. Taf. 13.

2 Reliquiae diluv. p. 5. Anm.

3 Vergl. *Erde* Th. III. S. 1106. v. Leonhard Taschenbuch für Mineral. XIII. 253.

Digitized by Google

nen aber als Erzeugniſse der Kunst nur der Vollständigkeit wegen kurz erwähnt werden. Dahin gehört dss *Labyrinth in Aegypten*, welches aus 3000 Gemächern, zur Hälfte über zur andern Hälfte unter der Erde bestanden haben soll[1], gegenwärtig aber meistens verschüttet ist; die *Katakomben bei Rom*, welche von unglaublicher Ausdehnung sind, meistens aber aus schmalen und niedrigen unterirdischen Gängen mit einer Menge Nischen im tuffartigen Kalksteine ausgehauen bestehen[2]. Minder ausgedehnt, aber aus geräumigern Gängen bestehend, sind die *Katakomben bei Neapel.* Auch bei Smolensk befinden sich ungeheuer groſse und weite Höhlen, die man für künstliche Begräbniſsplätze hält[3], u. a. m.

Diese kurze Uebersicht der vorzüglichsten und bekanntesten Höhlen möge hier als Beitrag zur physischen Geographie genügen. Vollständigkeit kann so viel weniger verlangt werden, als die nämlichen Erscheinungen bei gleichartigen Höhlen sich allezeit wieder erneuern, auch gehören die Untersuchungen über die Arten des Gesteines, worin sie vorkommen und die Ursachen ihrer Bildung zunächst in das Gebiet der Geognosie und Geologie. *M.*

## Hörrohr.

*Tuba acustica;* Cornet acoustique; *Hearing trumpet.* Das Hörrohr ist ein Werkzeug, dessen sich Schwerhörige bedienen, um den Schall zu verstärken. Bei der Construction desselben sucht man im Allgemeinen mehr Schallstrahlen aufzufangen und diese so zu vereinigen, daſs daraus eine verstärkte Wirkung auf die Gehörwerkzeuge erhalten werde. Chladni[4] nennt es daher ein umgekehrtes Sprachrohr, bestimmt dem Ohre eine gröſsere Menge Schallstrahlen zuzuführen, und Lambert[5] verlangt die parabolische Figur derselben, um die sämmtlichen Schallstrahlen in einen einzigen Punct zu vereinigen, wozu Chladni noch die Bedingung setzt, daſs der para-

1 Herod. II. 148.

2 S. Pauli Aringhii Roma subterranea. Rom. 1651. II Tom.

3 S. Herbinii religionis Kyoviensis cryptae. Jen. 1675.

4 Traité d'Acoustique Par. 1809. 8. p. 290.

5 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1775.

bolische Kegel im Brennpuncte ein kleines Rohr haben müsse, um die Schallstrahlen durch dieses in den Gehörgang zu leiten. Huth[1] will gefunden haben, daſs ein umgekehrtes elliptisch gekrümmtes Sprachrohr sich sehr gut zum Hörrohre eigne, Chladni aber hält die konische Form für die geeignetste, und die Krümmungen oder Windungen der gewöhnlichen Hörrohre scheinen ihm nur der Bequemlichkeit des Haltens und Anlegens wegen angebracht zu seyn. Obgleich aber die Meinung, daſs das Hörrohr zum Auffangen einer gröſseren Menge Schallstrahlen eine weite Oeffnung haben und zur Concentrirung derselben parabolisch gewölbt seyn müsse, unter den Physikern und Physiologen sehr allgemein herrschend ist[2], so läſst sich doch die Unhaltbarkeit dieser Voraussetzung sehr leicht nachweisen. Wenn man nämlich einen hohlen Kegel von willkürlich weiter Oeffnung, oder einen Trichter, wie weit derselbe auch seyn mag, mit der Spitze in den Gehörgang bringt, so wird sich nicht die mindeste Verstärkung des Schalls zeigen, selbst die gewundenen Hörrohre, welche allerdings den Schall verstärken, zeigen gar keine Wirkung, so lange sie gerade sind, und eins der nachher zu beschreibenden Hörrohre verstärkt wirklich den Schall bedeutend, obgleich die auffangende Oeffnung kaum ein bis zwei Par. Quadratzolle beträgt. Die Sprachgewölbe zeigen allerdings, daſs parabolisch gekrümmte Flächen eine Vereinigung und somit auch eine Verstärkung der Schallstrahlen bewirken, allein dieses gilt bloſs von den parallel mit der Axe einfallenden, und da ergiebt sich denn bald die Unmöglichkeit, solche für das Hörrohr bei seinem Gebrauche für die gewöhnliche Unterhaltung zu erlangen, weswegen sich von dieser Bedingung gar nichts oder mindestens nicht viel erwarten läſst. Man darf daher mit Recht behaupten, daſs es noch keine genügende Theorie des Hörrohrs giebt[3], auch habe ich Gelegenheit gehabt, die verschiedensten Constructionen der Hörrohre zu prüfen, ohne hierdurch zu irgend einem genügenden Resultate zu gelangen.

Für die Construction des Hörrohrs muſs hauptsächlich noch der Umstand berücksichtigt werden, daſs dasselbe die aus der

---

1 Nach Chladni a. a. O.

2 Erxleben Anfangsgründe d. Naturlehre. 6te Aufl. S. 252.

3 Vergl. Ittard: die Krankheiten des Ohres und des Gehörs. Weim. 1822. S. 234.

Digitized by Google

Entfernung kommenden Schallwellen auffangen und dem Ohre verstärkt zuführen soll, nicht aber die aus dem Munde des Redenden kommenden Töne unmittelbar. In letzterem Falle würde nämlich jede Röhre von beliebiger Weite und Krümmung das Erforderliche leisten, weil bekanntlich der Schall durch jede Röhre unzerstreuet und ungeschwächt dem Ohre zugeführt wird, und aus der parabolischen Wölbung einer solchen Zuleitungsröhre würde auch eine beträchtliche Verstärkung des Schalles nothwendig folgen.

Hörrohre sind schon seit den frühesten Zeiten bekannt, wenigstens erwähnt Corniers[1], daſs der Abbé Hautefeuille ein solches Instrument erfunden habe, und Nuck[2] beschreibt ein in Form eines Jagdhorns gebogenes Rohr, welches in dieser Absicht gebraucht seyn soll, auch liefert Duquet[3] die Beschreibung und Abbildung eines diesem ähnlichen Hörrohrs. Endlich soll Landinier diesem Apparate die Gestalt eines kleinen Waldhorns gegeben haben[4]. Was Joh. Bapt. Porta[5] über das Hörrohr sagt, daſs man nämlich nach Art des äuſseren Ohres bei den Thieren zur Verstärkung des Schalles eine weitere Oeffnung anbringen müsse, ist zu unvollkommen und undeutlich in Beziehung auf die eigentliche Construction des fraglichen Apparates, das Hörrohr aber, welches Athanas. Kircher 1649 im Jesuiter-Collegio zu Rom anbringen lieſs, ein mit seinem oberen Ende in sein Fenster hereingehendes Rohr, welches bis an die Thüre herabging und dort mit einem Trichter versehen war, um die Bestellungen des Thürhüters hierdurch von unten herauf zu vernehmen, ist kein eigentliches Werkzeug dieser Art, sondern ein bloſses Rohr zur bequemen Fortpflanzung des Schalles.

Die gemeinste Form des Hörrohrs ist die eines hohlen parabolischen Kegels, dessen weite Oeffnung CA die parallel mit
Fig. 92. der Axe einfallenden Schallstrahlen, z. B. mn, m′n′ auffangen, im Brennpuncte o vereinigen, und durch das gekrümmte Rohr fg dem Ohre zuführen soll[6]. Wenn man dabei fordert, daſs

1 Traité de la Parole. Liège 1691.

2 Operationes et experimenta chirurgica. Jenae 1698.

3 Recueil des Machines de l'Académie Roy. des Sc. Année 1706.

4 Vollständige und praktische Geschichte der Erfindungen. Basel 1789.

5 Magia naturalis. 1560.

6 Brisson Dict. rais. de Phys. Art. Cornet acoust.

dasselbe inwendig polirt und auswärts mit einer weichen Substanz überzogen seyn solle, um die Schallstrahlen nicht durch zu lassen und besser zu reflectiren, so stimmt dieses mit den Resultaten der Erfahrung nicht überein. Weil in der Höhle des natürlichen Ohres Luft eingeschlossen ist, so schloſs Le Cat[1] hieraus, auch durch das Hörrohr lasse sich der Schall verstärken, wenn man denselben durch eingeschlossene Luft leite, und er gab daher dem eben beschriebenen Hörrohre noch den Trichter CFD, damit die Schallwellen durch die im Raume AEB enthaltene Luft gehen sollten. Indeſs entspricht auch diese Veränderung den gehofften Erwartungen nicht. Den älteren Hörrohren ähnlich, aber gleichfalls von keiner bedeutenden Wirksamkeit ist die von Curtis[2] erfundene Hörtrompete, welche der Erfinder in vielen Fällen mit Erfolg angewandt zu haben behauptet. Sie besteht bloſs aus einem oben krumm gebogenen hohlen Kegel, dessen oberes gekrümmtes Ende in den Gehörgang geschoben wird, das untere weitere aber soll die Schallstrahlen auffangen und durch die Verengerung des Rohres sollen diese verstärkt werden. Das einzige, wodurch dieser Apparat sich auszeichnet, ist die Einrichtung, dasselbe nach Art eines Zugfernrohrs zusammenzuschieben und auf diese Weise verkürzt mit gröſserer Bequemlichkeit in einem Futterale bei sich zu tragen. Fig. 93.

Die trompetenförmigen Hörrohre, welche vermöge ihrer Krümmungen den Schall allerdings verstärken, und auch in sofern bequem sind, daſs man ihre Oeffnungen bei starker Schwerhörigkeit dem Munde des Redenden nähern kann, bestehen aus einem oben gebogenen, unten mit einer trompetenartigen Oeffnung versehenen Rohre, welches mit einem längeren oder kürzeren mittleren Theile versehen ist, je nachdem die Gröſse der Person, die sich dessen bedienen will, die Bequemlichkeit des Haltens und andere Bedingungen dieses erfordern, ohne daſs hieraus ein Unterschied der Wirksamkeit hervorgeht. Zusammengesetzter ist das Hörrohr, welches Ittard[3] vorschlägt, und wobei er den Bau des natürlichen Ohres nachzuahmen sucht.

1 Traité des Sens. p. 292.

2 Abhandl. über d. gesunden und kranken Zustand des Ohres. A. d. Engl. von Robbi. Leipz. 1819. S. 84.

3 a. a. O.

Digitized by Google

Fig. 96. Dasselbe besteht aus einer trompetenförmigen Oeffnung a, einer Trommel b, welche cylindrisch seyn kann oder seinen Erfahrungen nach besser elliptisch gekrümmt wird, und aus einer Zuleitungsröhre c zum Einschieben in den äuſsern Gehörgang. Als einen nicht unwesentlichen Theil desselben betrachtet er zwei künstliche Paukenfelle von Goldschlägerhaut *α α*; *β β*; welche in demselben bei der Zusammensetzung ausgespannt werden, und welche den Schall zwar mehr vermindern als verstärken, dafür aber weniger verworren machen sollen.

Auf die Construction der schneckenförmigen Hörrohre führt die Erfahrung, daſs bloſse Kegel gar keine Verstärkung des Schalles geben, welche sich indeſs in einem geringen Grade augenblicklich zeigt, sobald man denselben nur eine Krümmung
Fig. 97. giebt. Weit stärker, und zwar ohne allen Vergleich mit einer solchen bloſsen Krümmung wird die Wirkung, sobald ein solches trompetenförmiges Rohr, auch wenn es in seiner anfänglichen geraden Gestalt ganz ohne Effect war, schneckenförmig gewunden wird. Ob und in wie weit die Anzahl der Windungen hierbei von Bedeutung seyn mag, ist schwerlich durch Versuche schon ausgemittelt, wahrscheinlich bleibt dieselbe aber ganz ohne Einfluſs, sobald nur eine einzige vollständige Windung vorhanden ist. Bei einigen von mir untersuchten Exemplaren konnte ich keinen aus der ungleichen Anzahl der Windungen hervorgehenden Unterschied wahrnehmen. Diesem entfernt ähnlich, aber weder durch Schönheit seiner Form noch durch gröſsere Wirksamkeit ausgezeichnet, ist ein mit Windun-
Fig. 98. gen versehenes Rohr, welches nach Ittard's Angabe aus einem zweimal gewundenen Kegel bestehen soll. Weit sinnreicher dagegen und wahrscheinlich viel zweckmäſsiger ist der Vorschlag desselben[1], den Schall durch Schneckenwindungen zum Ohre zu führen, und weil diese aus Metall schwer künstlich zu bereiten sind, natürliche Schneckenhäuser für diesen Zweck einzurichten. Man nimmt hierzu geeignete Exemplare
Fig. 99. der Schrauben- Trompeten- und Kegelschnecken, schneidet die Spitze so weit ab, bis der Gang sich öffnet, setzt auf diese Oeffnung ein so gebogenes Rohr, daſs es sich bequem in den Gehörgang bringen läſst, und zur Vergröſserung der Oeffnung auf das weitere Ende des Schneckenhauses eine metallene Mün-

1 Ittard a. a. O. S. 239.

Digitized by Google

dung, worin man auch ein oder zwei Trommelfelle $\alpha\ \alpha$; $\beta\ \beta$; von Goldſchlägerhaut anbringen kann, und erhält auf dieſe Weiſe den verlangten Apparat.

Die meiſte Aehnlichkeit mit dieſen haben unter den muſchelförmigen Hörrohren die ſogenannten franzöſiſchen künſtlichen Ohren. Man verfertigt ſie in Spanien aus wirklichen Muſcheln, ſonſt gewöhnlich aus Silber, und trägt ſie an einem metallenen Bügel über den Kopf [1]. Ihre Wirkung iſt unbedeutend, und wird wahrſcheinlich hauptſächlich nur durch ein Röhrchen bedingt, welches von denſelben in den äuſsern Gehörgang geht; übrigens haben ſie den Vorzug groſser Bequemlichkeit. Sehr nahe kommen ihnen im Baue die Gehörmuſcheln, welche gleichfalls an einem über den Kopf gebogenen metallenen Bügel befeſtigt, die in ihren Windungen aufgefangenen Schallſtrahlen durch eine Röhre in den Gehörgang leiten. Selbſt bloſse metallene Röhrchen, in den Gehörgang geſchoben, noch beſſer aber zuſammengedrehete Pfriemen von Baumwolle, über einen Dorn gewunden und vermittelſt des letzteren durch das zerſtörte Paukenfell in die Paukenhöhle gedrückt, bis die ſchmerzhafte Empfindung das Weiterſchieben nicht mehr geſtattet, ſollen zuweilen ein wirkſames Mittel zur Herſtellung des Hörens abgeben [2]. Eine Anwendung dieſes Vorſchlags iſt übrigens gewiſs äuſserſt ſelten, und daher die Prüfung deſſelben höchſt ſchwierig.

Von einer, nach dem bloſsen Baue zu urtheilen, unerwartet groſsen Wirkung iſt eine Art Hörrohr, deſſen Erfinder gleichfalls Ittard zu ſeyn ſcheint [3]. A A iſt der Körper von dünnem Eiſenblech oder Meſſingblech, hohl und etwa von gleicher Tiefe als Höhe, welcher ſo gebogen iſt, daſs er ziemlich genau auf den Kopf des Tragenden paſst, und ſich allmälig in die dünnen Röhren a a verläuft. Auf dieſen ſtecken zwei andere ein- und zweimal rechtwinklich gebogene hohle Röhrchen, welche ſo gedrehet werden können, daſs man ihre Enden $\beta\ \beta$ Fig. 100.

---

1 Curtis Abh. über den geſunden und kranken Zuſtand des Ohres. S. 83.

2 Ittard a. a. O. S. 246.

3 A. a. O. S. 246. Die Beſchreibung iſt nicht wohl verſtändlich, wenn man das Inſtrument nicht geſehen hat. Eine Zeichnung iſt nicht dabei.

Digitized by Google

in die Gehörgänge beider Ohren bringt. In der Mitte über der Stirn befindet sich eine Oeffnung *a a*, nicht gröſser als etwa 1,5 Z. lang und 0,75 Z. breit, durch welche der Schall in die Ohren gelangt. Wie eine so kleine Oeffnung eine so bedeutende Verstärkung des Schalles hervorbringen könne, als durch dieses Werkzeug erhalten wird, wäre ganz unbegreiflich, wenn diese Wirkung überhaupt von der Gröſse der Fläche abhinge, wodurch die Schallwellen aufgefangen werden. Die Verstärkung scheint mir daher nach dieser und den oben mitgetheilten Erfahrungen nicht sowohl hiervon, als vielmehr von den hohlen gekrümmten Räumen abzuhängen, worin die Schallwellen fortgeleitet werden, eine Hypothese, welche selbst schon in der Betrachtung des natürlichen äuſseren Ohres eine bedeutende Unterstützung erhält. Der ganze Apparat ist dazu bestimmt, von schwerhörigen Damen unter der Haube getragen zu werden, und es thut der Wirkung desselben keinen Abbruch, wenn eine solche leichte Haube darüber gezogen oder die Oeffnung durch so lockeres Zeug, als zu solchem Putze genommen wird, verschlossen ist.

Alle Hörrohre, insbesondere auch das letztere, haben einen ihre Wirksamkeit ungemein beschränkenden, für viele Personen ganz aufhebenden Fehler, nämlich sie erzeugen neben dem verstärkten Schalle durch die wiederholte Reflection der Schallwellen in den Höhlungen, und wahrscheinlich zugleich durch das Mittönen der Masse, woraus sie verfertigt sind, ein so unangenehmes und oft so störendes Brausen und Summen, daſs dieses in manchen Fällen ganz unerträglich wird. Hieraus erklärt sich die von Ittard gemachte Beobachtung, daſs einige Hörrohre für diese und einige für andere Personen passen, indem es für manche vortheilhaft seyn mag, durch das Nebentönen (wie bei der *paracusis Willisiana*[1]) die Empfänglichkeit des Gehörs für die Eindrücke des Schalles zu wecken. In den meisten oder mindestens in sehr vielen Fällen werden indeſs die Hörrohre dadurch ganz unbrauchbar, wenn anders dieses Hinderniſs nicht durch die in ihnen ausgespannten Membranen beseitigt wird, worüber ich keine Erfahrungen habe. Es hat ferner nach zufällig von mir gemachten und nachher absichtlich wiederholten Beobachtungen vermuthlich bei allen, namentlich

1 Vergl. *Gehör* Th. IV. S. 1219.

Digitized by Google

aber bei den schneckenförmig gewundenen Hörrohren auf ihre Wirksamkeit keinen merklichen Einfluſs, wenn die trompetenförmige Oeffnung mit einer weichen Substanz, z. B. Baumwolle u. s. w. lose ausgestopft ist. Endlich aber bemerke ich noch, daſs man nicht zu sehr eilen darf, zum Gebrauche des Hörrohrs seine Zuflucht zu nehmen, weil hierdurch das Ohr in den meisten Fällen gegen die gewöhnlichen Eindrücke des Schalles mehr abgestumpft wird, und wenn beide Ohren in gleichem Grade schwerhörig sind, so verliert meistens dasjenige, bei welchem man das Instrument nicht anwendet, die Fähigkeit zu hören gänzlich oder in einem weit höheren Grade.

Unter die minder bekannten Hörrohre kann auch dasjenige gerechnet werden, welches Ittard[1] für den individuellen Zweck empfiehlt, um die taubstummen Kinder nach anfangender Wiederherstellung des Gehörs ihre eigene Stimme vernehmen zu machen. Es besteht dieses bloſs aus einem krummen, wie ein Horn gebogenen Instrumente, dessen weiteres offenes Ende genau die Oeffnung des Mundes umschlieſst, indem das andere spitze in das Ohr geht. Sein Gebrauch soll sich bloſs auf den angegebenen Zweck beschränken, indeſs möchte ich fast bezweifeln, daſs auch in dieser Hinsicht oder überhaupt viel von demselben zu erwarten sey. Endlich giebt auch Truchet[2] eine eigenthümliche Art Hörrohr (unrichtig Sprachrohr genannt) an. Dieses besteht aus einer dem äuſsern Ohre nachgebildeten Oeffnung mit einer Membrane, welche das Paukenfell ersetzen und das Eindringen der äuſsern Luft in das innere Ohr verhüten soll. Man hat indeſs wenig oder überhaupt keinen Gebrauch von demselben gemacht.

Alle die bisher beschriebenen und die ihnen ähnlichen Hörrohre sind hohl, das den Schall leitende Medium bei ihnen ist die Luft, und der Weg, welchen die Schallwellen bis zu den Gehörnerven nehmen, ist das äuſsere Ohr. Indem der Schall aber auch durch feste Körper geleitet wird, und der Zufall schon frühe die Erfahrung herbeiführen muſste, daſs derselbe auch durch die festen Theile des Kopfes, vorzüglich die Zähne wahrgenommen wird, so erwähnen schon Ingrassia[3],

---

1 A. a. O. S. 542.

2 Annal. Wratislav. Cent. 4. anni 1718. Apr. 5 art. 1 §. 2.

3 I. B. Ingrassia de ossibus. cet. Lugd. 1551. 12.

Digitized by Google

Athanas. Kircher[1] und Boerhave[2] einer Vorrichtung, vermittelſt deren man durch die Zähne hören kann. Später ſchlug Joh. Jorissen[3] und zwei Jahre ſpäter J. H. Winkler[4], letzterer jedoch bloſs die Verſuche und Angaben des erſten benutzend, hierzu einen hölzernen, einige Fuſs langen und etwa ein bis zwei Quadratzolle im Querſchnitt haltenden Stab vor, welchen ſowohl der Redende als auch der Hörende zwiſchen die Zähne nehmen muſste. Wegen der augenfälligen Unbequemlichkeit dieſer Vorrichtung, namentlich für den Redenden, ſchlägt Ittard[5] vor, ein hohles, nach oben verjüngtes Priſma von zolldickem Holze mit einem platten Mundſtücke an einem Ende zu wählen, an das andere Ende desſelben aber einen Trichter zu befeſtigen, in welchen der Redende den Mund hält. Indeſs iſt die Wirkung dieſes Inſtrumentes ungleich ſchwächer, weswegen auch Ittard ſelbſt, in Fällen groſser Schwerhörigkeit, zur Beibehaltung des von Jorissen vorgeſchlagenen feſten Leiters räth, mit der Verbeſſerung, daſs das eine Ende desſelben in zwei federnde, etwa zwei Zolle von einander abſtehende Blätter ausläuft, welche durch ihre Schnellkraft ſich ſtets in Berührung mit dem oberen Rande der Zähne des Redenden erhalten, ohne die Bewegung der Kinnbacken und Lippen zur Articulirung der Töne beim Reden aufzuheben. Daſs die Rede hierdurch etwas undeutlich werden müſſe, verſteht ſich wohl von ſelbſt, indeſs ſoll das ganze Werkzeug auch nur als ein Hülfsmittel zur Aufhebung oder Milderung eines beſtehenden Uebels dienen[6]. *M.*

---

1 Musurgia universalis, sive ars magna consoni et dissoni. In X libr. dig. II Tom. Rom. 1650. fol. L. 1. sect. 7.

2 Institut. rei med. De auditu.

3 Dissertat. sistens novae methodi, surdos reddendi audientes, physicas et medicas rationes. Halae 1757. 4.

4 De ratione audiendi per dentes. Lips. 1759. 4.

5 A. a. O. S. 245.

6 Hier könnte auch das *Horchrohr* erwähnt werden, welches Praetorius in Gilb. Ann. XXXIX. 150. für den Kriegsgebrauch in Vorſchlag gebracht hat, eine oben umgebogene Eiſenſtange, unten mit einer Schaufel, welche in die Erde geſteckt wird, um die Bewegungen des Militärs auf groſse Entfernungen zu hören. Allein ich übergehe deſſen Beſchreibung mit Stillſchweigen, weil man zwar die Bewegungen hört, aber den Ort derſelben nicht unterſcheiden kann.

Digitized by Google

# Hof
## um Sonne oder Mond.

*Halo, corona;* Halon, couronne; *Halo, crown.*

Man sieht oft den Mond von farbigen Ringen umgeben, deren Halbmesser nur wenigen Durchmessern des Mondes gleich sind, und ähnliche Ringe zeigen sich auch um die Sonne, wo man sie nur, wegen des blendenden Lichtes der Sonne, seltener wahrnehmen kann. Diese Ringe nennt man *Höfe*, und ich werde sie hier mit dem Namen *kleinere Höfe*, auszeichnen. Von ihnen wesentlich verschieden sind die *gröſseren Höfe*, die als Ringe, von etwa 22 Grad und 44 Grad Halbmesser zuweilen um Sonne oder Mond gesehen werden, und welche nicht immer, aber doch sehr oft, mit der Erscheinung *einer Nebensonne* (*parhelius;* parélie; *mocksun*) oder mehrerer Nebensonnen verbunden sind, so wie auch beim Monde Nebenmonde erscheinen. Mit diesen gröſsern Höfen zugleich erscheinen oft andere horizontale und verticale oder auch schiefliegende Kreise, die mit jenen groſsen Höfen in so naher Beziehung stehen, daſs man alle diese Phänomene zusammen betrachten und zu erklären suchen muſs. Da die kleinen Höfe von ganz andern Umständen als die gröſsern abzuhängen scheinen, so trenne ich die Betrachtung der erstern völlig von der der letztern.

## Von den kleinen Höfen um Sonne und Mond.

Wenn die Luft entweder mit Dünsten so schwach erfüllt ist, daſs das Blau des Himmels davon wenig getrübt wird, und die Strahlen des Mondes doch nicht zu sehr zurückgehalten werden, oder wenn dünne Wolken vor dem Monde vorbei ziehen, so sieht man ihn von einem oder mehrern kleinen Höfen umgeben. Diese zeigen sich ganz nahe um den leuchtenden Körper, und zwar so, daſs diesen zunächst ein Kreis von graulichem Blau umgiebt, welches ganz nahe an dem leuchtenden Körper in helleres Weiſs übergeht, nach auſsen aber mit einem gelben und rothen Kreise begrenzt ist; dann folgt eine Farbenfolge von Violett, Blau, Grün, Gelb, Roth; eine neue Farbenfolge von Grün, verwaschenem Gelb und Roth; endlich mat-



Digitized by Google

tes Grün und mattes Roth[1]. So vollständig zeigen diese Höfe sich nur selten, da man sie um die Sonne wegen der blendenden Helle dieses Himmelskörpers sehr schwer sehen kann, und beim Monde sehr günstige Umstände dazu gehören, um sie alle darzustellen. Newton hat einmal das im Wasser gespiegelte Sonnenbild mit Ringen, den eben beschriebenen gleich, umgeben gesehen, und man kann sich theilweise diese Erscheinung leicht verschaffen, wenn Wolken vor der Sonne vorbeiziehen und man unterdeſs das Sonnenbild im Wasser betrachtet; aber seltner trifft es sich, daſs die Höfe gerade dann vollständig erscheinen[2].

Um die Erklärung dieses Phänomens herbeizuführen, bei welchem die Farbenfolge an diejenigen Ringe erinnert, welche man, vermöge der Beugung des Lichtes, entstehen sieht, wenn man das Licht durch eine sehr kleine Oeffnung fallen läſst, will ich einen andern, leicht anzustellenden Versuch anführen, der ein sehr nahe verwandtes Phänomen darstellt. Man nehme ein dünnes Florband, worin die überall gleich dicken Fäden regelmäſsig gewebt sind, halte es so, daſs die eine Fädenreihe vertical, die andere horizontal läuft, vor das Auge, und sehe durch dasselbe nach einer entfernten Lichtflamme, so sieht man erstlich neben dem Lichte an beiden Seiten mehrere einander zum Theil deckende Lichtflammen, die einen hellen, gegen den Rand hin rothen Raum ganz ausfüllen; dann folgt horizontal neben diesen Flammen ein dunkler Raum, an den sich ein schönes farbiges Bild der Lichtflammen, mit der blauen Seite nach dem Hauptlichte gekehrt, und dann Grün, Gelb, Roth zeigend anschlieſst; neben diesem sieht man wieder einen dunkeln Raum und dann ein eben so, wie das vorige, gefärbtes Bild. Eben

1 G. XVIII. 30. XLII. 403. In der Beschreibung, die in G. LII. 450. gegeben wird, machen die drei ersten Ringe die erste Farbenfolge aus, der vierte bis siebente bilden die zweite, der achte und neunte die dritte Farbenfolge. Vergl. Misc. Berolin. IV. 64.

2 Bei einem von Messier beobachteten schönen Hofe um den Mond ist die Farbenfolge anders angegeben. Um den Mond, etwa einen Monddurchm. breit, ein milchiges Weiſs, dann ein nicht ganz so breiter orangefarbner Ring; dann ein dem ersten Ringe an Breite gleicher tief blaulicher Kreis, endlich ein nicht so breiter tief purpurner Kreis. Mém. de l' Inst. de France. V. 130.

Digitized by Google

solche wiederholte Bilder der Lichtflamme sieht man oberwärts und unterwärts, wo sie aber wegen der Länge der Lichtflamme sich mehr einander decken. Entfernt man sich weit vom Lichte, so erscheinen die hellen, den innern Raum ausfüllenden Lichtflammen mehr getrennt, weil ihre scheinbaren Abstände von einander gleich bleiben, während die scheinbare Gröſse jeder Flamme kleiner wird; die hinaufwärts oder herabwärts einander folgenden Bilder dagegen, die der Hauptflamme am nächsten liegen, decken, ihrer gröſsern Länge wegen, auch dann noch einander. — Diese vier Reihen wiederholter Lichtbilder liegen nach der Richtung der Fäden des Bandes, und wenn man die horizontalen Fäden, und damit auch die verticalen Fäden in eine schiefe Lage bringt, so nehmen die Lichtschweife eben die schiefe Lage an; legt man zwei Theile des Florbands so über einander, daſs die Fäden sich unter halbrechten Winkeln durchkreuzen, so erhält man acht Lichtschweife; und könnte man die Fäden nach allen Richtungen gehend anbringen, so würde sich um den innern lichten Raum, der sich mit Roth einfaſst, ein Ring zeigen, der die ganze Farbenfolge und das Blau nach innen, das Roth nach auſsen, darböte; dann ein dritter Ring mit eben der Farbenfolge, u. s. w. Diese Farbenfolge kann indeſs bei leuchtenden Körpern von erheblichem Durchmesser nicht rein erscheinen, da eigentlich jeder leuchtende Punct um sich einen runden Hof haben sollte, wo dann offenbar die Farben des einen auf andere Farben des andern fallen, auf eine Weise, die sich leicht näher untersuchen lieſse.

Diese Erscheinung, die jeder leicht selbst sehen kann, ist offenbar mit dem Phänomene der kleineren Höfe so nahe übereinstimmend, daſs man die Entstehung dieser aus jener muſs erklären können; und diese Erklärung ist auch schon von Jordan[1], noch vollständiger aber von Fraunhofer[2], angegeben worden. Die eben erzählten Phänomene beruhen auf der Beugung des Lichtes, und wenn gleich die vollständige Erklärung erst aus den genauern Untersuchungen über die Beugung des Lichtes[3] hervorgehen kann, so wird sich doch die Hauptsache auch hier deutlich machen lassen.

1 G. XVIII. 21.

2 Theorie der Höfe und Nebensonnen; in Schumacher's astron. Abh. 3tes Heft.

3 S. Art. *Inflexion.*



Digitized by Google

Wenn mehrere kugelförmige undurchsichtige Körper von sehr kleinem Durchmesser nahe bei einander schweben, so wird an jedem dieser Kügelchen durch die Beugung des Lichtes eine Zerlegung der Lichtstrahlen so hervorgebracht, daſs von dem dicht an c vorbei gehenden Lichtstrahlen *ein* rother Strahl nach
Fig. 101. d, *ein zweiter* rother Strahl nach f, *ein dritter* nach g gelangt, *ein vierter* nach h; eben das findet auf der andern Seite statt. Da nun ganz dieselbe Beugung für jedes einzelne Kügelchen eintritt, so erhält das Auge in d, welches von dem directen Lichtstrahle k d getroffen werden sollte, den rothen Lichtstrahl c d, und den mit c e parallelen rothen Lichtstrahl c′d; es sieht also nach den Richtungen d c, d c′ rothes Licht, oder vielmehr da eben dieses rund um d k nach allen Seiten statt findet, einen rothen Ring, den ich den ersten rothen Hof nennen will. Genau so erhält das Auge d die mit den zweiten rothen Strahlen c f, c f parallelen Strahlen d m, d m′, und sieht in dem scheinbaren Abstande k d m einen zweiten rothen Ring um den leuchtenden Körper; d n, d n′, mit dem dritten rothen Strahle c g, c g parallel, geben einen dritten rothen Ring und so ferner. Nach den Gesetzen der Beugung des Lichtes bleiben die von c herkommenden blauen Strahlen der ersten Ordnung näher als die ersten rothen Strahlen bei ihrer natürlichen Richtung, und das Auge d sieht also die blauen Ringe in geringerem Abstande von dem leuchtenden Körper, als die rothen, und daſs die übrigen Farben nach der Ordnung dazwischen fallen, versteht sich von selbst. Da der Mond eine so bedeutende scheinbare Gröſse hat, so erhellet, daſs die Farben sich minder rein darstellen müssen; denn wenn zum Beispiel der rein rothe erste Ring, welcher dem Mittelpuncte entspricht, einen Halbmesser haben sollte, der nur um $\frac{1}{4}$ Grad von dem des zweiten blauen verschieden wäre, so würde der Ring, der den nächsten Randpunct des Mondes roth umgeben sollte, mit dem zweiten blauen Ringe um den Mittelpunct zusammenfallen, und so kann für andre Farben dieses noch leichter statt finden.

Um die Ueberzeugung, daſs die Höfe so entstehen, noch mehr zu unterstützen, hat Fraunhofer Glaskügelchen auf ein horizontales Glas gestreuet und den vertical auf sie zurückgeworfenen Sonnenstrahl nach dem Durchgange zwischen ihnen beobachtet. Je kleiner die Kügelchen waren, desto gröſser waren die Durchmesser der Höfe.

Digitized by Google

Andere Beobachtungen über die Beugung des Lichtes zeigten Fraunhofer, daſs man den Halbmesser $= r'$ des ersten rothen Ringes, den Halbmesser $= r''$, des zweiten, den Halbmesser $= r'''$ des dritten, durch

$$r' = \frac{0,0000257}{\gamma};$$

$$r'' = r' + \frac{0,0000214}{\gamma};$$

$$r''' = r'' + \frac{0,0000214}{\gamma}$$

ausdrücken könne, wenn $\gamma$ der Durchmesser eines Dunstkügelchens in Paris. Zollen ist. Fraunhofer berechnet darnach drei Beobachtungen über Höfe und findet, daſs bei der einen von Jordan angestellten, $\gamma = 0{,}00191$ Zoll, bei der zweiten von Jordan angestellten $\gamma = 0{,}000578$; bei der dritten, von Newton angestellten Beobachtung [1] $\gamma = 00113$ Zoll betrug [2].

Da die Höfe bei ungleicher Gröſse der Dunstkügelchen so ungleich ausfallen, so können sie nur erscheinen, wenn die gröſseste Zahl der Dunstkügelchen von gleicher Gröſse ist, und

---

1 Newtoni Opt. am Ende des 2ten Buches. Noch eine Bestimmung von Musschenbroek findet man in Mém. de Paris. 1735 p. 87. wo die Beobachtung vom 14. April hierher gehört. Vgl. v. Humboldt Reise I. 505.

2 In diesen Berechnungen stimmen die von mir gefundenen Zahlen nicht ganz mit Fraunhofer's überein; ich habe aber seine Angaben beibehalten. Die Rechnung ist folgende: Die beobachteten Durchmesser der Ringe sind:

$2^\circ\ 1' = 0{,}0351975 = 2r'$;
$3^\circ\ 20' = 0{,}0581776 = 2r''$;
$5^\circ\ 36' = 0{,}0977384 = 2r'$;
$9^\circ\ 52' = 0{,}1722058 = 2r''$;
$3^\circ = 0{,}05236 = 2r'$;
$5^\circ\ 30' = 0{,}09599, = 2r''$.

Sucht man nun $\gamma = \frac{0{,}0000257}{r'} = \frac{0{,}0000471}{r''}$, so erhält man aus den drei Beobachtungen

$\gamma = 0{,}001460$; u. auch $= 0{,}001618$.
$\gamma = 0{,}000526$; u. auch $= 0{,}000547$.
$\gamma = 0{,}000982$; u. auch $= 0{,}000981$.

Darnach würde man die Durchmesser der Dunstkügelchen auf 0,001539; 0,000536; 0,000982, setzen müssen. Fraunhofer muſs also andre Durchmesser als die von ihm S. 48. angegebenen gebraucht haben.

Digitized by Google

so erhellet, warum nicht immer bei gleicher Dunstbedeckung Höfe erscheinen. Sind nämlich die Dunstkügelchen ungleich, so fallen die durch *eine* bestimmte Gröſse hervorgebrachten Farben, auf die ungleichen Farben, die einer andern Gröſse entsprechen, und bilden eine weiſse Erleuchtung um den leuchtenden Körper.

Man kann ein den Höfen um den Mond vollkommen ähnliches Phänomen hervorbringen, wenn man eine reine Glasscheibe sehr schwach anhaucht, und dadurch ein entferntes, recht helles Licht oder auch den Mond ansieht. Man erblickt dann zunächst um den leuchtenden Körper einen dunkeln Kreis, der in Bläulich, dann in Weiſs übergeht und roth umgrenzt ist. Dieser Hof ist bei einem recht leiſsen Hauche am gröſsesten, wie es der dann statt findenden Kleinheit der niedergeschlagnen Dunsttheilchen gemäſs ist [1].

In sichtbaren Wasserdünsten, die vor einem Lichte aufsteigen, sieht man aus ähnlichem Grunde Färbungen, die jedoch wegen der Unregelmäſsigkeit solcher Dampfwolken selten ordentliche Kreise darstellen. Auch ohne Hülfe eines fremden Mittels zeigen sich farbige Höfe um die Lichter bei krankhafter Affection des Auges, ohne Zweifel, weil feine undurchsichtige Verdichtungen sich auf den Häuten des Auges befinden [2].

Ein ganz hierher gehöriges Phänomen zeigt sich im Nebel um den Schatten des Beobachters. Ehe ich aber von diesem rede, will ich eine sehr oft beobachtete Erscheinung anführen, die man leicht gewahr wird, wenn man bei niedrigem Stande der Sonne den Schatten seines eignen Kopfes betrachtet. Man sieht diesen dann mit einem hellen Scheine umgeben, der sich gewöhnlich oberwärts ziemlich hoch über den Kopf hinauf erstreckt; er ist nur sichtbar, wenn der Schatten auf Gras, Korn und dergleichen fällt, und er verschwindet, wo der Schatten eine ganz ebene Fläche trifft. Nach v. Winterfeld's Erklärung [3], entsteht dieser helle Hof aus Reflexion der Lichtstrahlen

---

1 Einen Versuch mit dem Dunstbeschlage der Glocke auf der Luftpumpe erklärt Gilbert richtig. Ann. XVIII. 52.

2 Brougham (Ph. Tr. 1796. p. 259) sagt, die durch die Papille gehenden Strahlen werden gebeugt, indem sie durch die Fasern der Augenhäute gehen.

3 G. XVIII. 64.

theils an den Thautropfen, theils an den glatten Grashalmen und aus der Erleuchtung ihrer ganzen Oberfläche. Wäre nämlich die Sonne ein einziger Punct, so würde genau von dem Thautropfen aus, der mit der Sonne und meinem Auge in gerader Linie liegt, der Lichtstrahl sowohl von der hinteren als vorderen Seite in mein Auge zurückgeworfen, wenn nicht gerade an diese Stelle mein Schatten fiele. Jeder in anderer Lage befindliche Thautropfen kann uns nicht beide reflectirte Strahlen zugleich zusenden. Für Strahlen, die von der Sonne kommen, findet eben das, wegen ihres erheblichen Durchmessers noch statt, wenn die Thautropfen den Schatten meines Kopfs nur nahe liegen, für entferntere aber nicht.

Dazu kommt, daſs wir die undurchsichtigen runden Körper vermöge des unregelmäſsig zerstreut zurückgeworfenen Lichtes erleuchtet sehen, und nur die erleuchtete Seite derjenigen Grashalme, die der Sonne gegenüber liegen, ganz sehen, diejenigen dagegen, welche weiter seitwärts liegen, bieten uns einen Theil ihrer Schattenseite dar. Daſs der Schein sich nach oben hin weiter verbreitet, kommt theils davon her, daſs die cylindrischen Halme, auch da, wo der obere Theil unseres Schattens aufhört, ihre ganz erleuchtete Seite zeigen, theils mag es von der bei niedrigem Sonnenstande nicht unerheblichen Zurückwerfung des Sonnenlichtes von der zwischen dem Beobachter und der Sonne liegenden, mit glänzendem Grase und Thau bedeckten Ebene herrühren; dieser zerstreute Lichtschimmer bietet gleichsam eine Menge unter der Horizontallinie stehende Sonnen dar, deren nahe bei meinem Kopfe vorbeigehende Strahlen genau ebenso zu mir reflectirt werden, und die zur Verstärkung der Erleuchtung aller gegen die Sonne gekehrten Seiten beitragen [1].

Selten zeigt sich diese Glorie um den Schatten des Kopfes so schön, wie Bouguer sie in den Wolken auf den Andes [2], und Scoresby auf den dichten Nebeln sah [3], die in den Polargegenden oft auf dem Meere ruhen; aber auch auf dünnern Ne-

1 Von dem physiologischen Scheine, wo jedes Dunkle sich mit hell umgeben zeigt, kann hier nicht die Rede seyn, da diese Erscheinung sich nicht *bloſs* um den Schatten *des Kopfs* zeigen könnte.

2 Mém. de Paris 1744. 262. Bouguer la figure de la terre. p. XLIII.

3 Journ. of a Voyage to the northern Whalefishery. p. 276.

Digitized by Google

belschichten können sie sich zeigen[1]. Ich will hier nur Scoresby's Erzählung mittheilen, und Fraunhofers Erklärung des Phänomens daran anknüpfen. Wenn eine nur bis auf 50 oder 60 Yards hoch sich erstreckende Nebelschicht auf dem Meere liegt, so sieht man, obgleich die Dicke des Nebels Gegenstände auf der Erde nicht weit zu sehen gestattet, doch die Sonne sehr hell, und ein Beobachter auf der Spitze des Mastes sieht dann im Nebel, um den Schatten seines Kopfes, farbige Kreise, die desto schöner sind, je dichter die Nebelschicht ist, welche die Gegenden unter ihm einnimmt. In allen Fällen bildet der Schatten des Kopfes des Beobachters das Centrum aller Kreise, und man sieht zugleich den Schatten der umgebenden Theile des Schiffs. Der innerste Kreis ist so klein, daſs er bei seinem starken Glanze eine Gegensonne (*anthelius*) oder eine Glorie um des Beobachters Kopf bildet. Eine Erscheinung, wie sie sich auf der Spitze des Mastes 105 Fuſs über dem Wasserspiegel darstellte, beschreibt Scoresby genauer. Wenn bei sehr dichtem unten liegendem Nebel die Sonne dennoch hell schien, so zeigten die zwei innern Kreise, welche bei minder dichtem Nebel sich in einen einzigen hellen Ring vermischten, ganz deutliche Farben, und zwar der erste von innen her gerechnet, Weiſs oder Gelb und Roth; dann folgte Purpur, Blau, Grün, Gelb, Roth als zweite Farbenfolge, und weiter entfernt von der Sonne als dritte Farbenfolge Purpur, Grün, weiſslich oder schwaches Gelb, Roth, Purpur. Die dritte Farbenreihe war nur schwach. Der Halbmesser des äuſsersten Randes des ersten Ringes war nach Schätzung $1\frac{1}{2}$ bis 2 Grad, die äuſsere Grenze des zweiten Ringes, (wofür Scoresby das Purpur rechnet, das ich zur dritten Farbenfolge genommen habe), nach Messung $= 4° 45'$; der Halbmesser des dritten nach Schätzung $6°. 30'$. Nur diese Höfe sind es, die hierher gehören, indeſs muſs ich doch, um das Phänomen vollständig zu beschreiben, noch den vierten, viel gröſseren Kreis erwähnen, der nach der Beschreibung 4 Grade breit seyn muſste, dessen Mitte einen Radius von $38° 50'$ hatte, und der sich bloſs als ein weiſs-grauer Ring zeigte. Einen fünften noch etwas gröſsern weiſsen Kreis

---

1 G. XVIII. 68. Auch der von Weidler um die Gegensonne beobachtete kleine Hof gehört wohl hieher. Phil. Tr. 1739. Vol. XLI. 221.

Digitized by Google

hat Scoresby zu andrer Zeit mit der Erscheinung verbunden gesehen.

Ueber die beiden letzten will ich im Artikel *Regenbogen* etwas sagen; für die ersteren giebt Fraunhofer (auf Bouguer's Beobachtung bezogen), folgende Erklärung, die ich auf Scoresby's Beobachtung anwenden werde.

So wie die direct von der Sonne auffallenden Strahlen in den Wasserkugeln oder Dunstkugeln nur dann von der vorderen Fläche und von der inneren hinteren Fläche nach einerlei Richtung zurückgeworfen werden, wenn sie durch den Mittelpunct der Kugeln gehen, eben so wird dieses auch mit den gebeugten Strahlen der Fall seyn. Diejenigen gebeugten Strahlen also, welche an den, den Kopf des Beobachters zunächst umgebenden Dunstkügelchen gebeugt werden, kommen auf eben dem Wege zurück, und erreichen das Auge des Beobachters, der also, vermöge eines solchen Strahls einen leuchtenden Punct in eben so groſsem scheinbarem Abstande von dem Schatten seines Auges sieht, als derjenige ist, wo ihm gegen die Sonne gewandt, ein Hof um die Sonne erscheinen sollte. Daſs daraus nun, weil es rund um den Schatten gebeugte Strahlen giebt, Kreise entstehen und zwar verschiedenfarbige und Wiederholungen derselben Farbe, wegen der verschiedenen Beugung, erhellt leicht.

Fraunhofer rechnet die Gröſse der Dunsttheilchen ebenso aus, wie vorhin, und in Beziehung auf Scoresby's Beobachtung würde man aus dem dritten Ringe 0,000604, aus dem zweiten 0,000568 finden, und der erste Ring müſste 2° 31′ Halbmesser gehabt haben, um das Mittel zwischen beiden zu geben.

Diese Erklärung scheint mir zu keinem Einwurfe Veranlassung zu geben. Der einzige Einwurf, der möglich schiene, nämlich, ob denn die schon einmal gebeugten Strahlen, wenn sie wieder an Dunsttheilchen vorbeigehen, nicht abermals gebeugt, und dadurch in unregelmäſsige Richtungen gebracht werden, scheint durch die Ueberlegung, daſs hierdurch zwar eine Schwächung eintreten, das Phänomen aber nicht ganz aufgehoben werden kann, hinreichend widerlegt zu seyn.

Bei den Erklärungen, welche von den Physikern früherer Zeiten über diese Höfe gegeben sind, ist es nicht der Mühe werth,

Digitized by Google

zu verweilen, zumal da sie sich mehr auf die gröſsern Höfe beziehen[1].

Newton glaubte diese kleinen Höfe aus den beim Durchgange durch dünne Blättchen entstehenden Farbenringen erklären zu können. Wenn nämlich das Licht durch ein kleines Wasserkügelchen gehe, so würden da, wo der Lichtstrahl die hintere Wand des Tropfens erreicht, einige Lichttheilchen im Zustande leichterer Durchlassung seyn, andere im Zustande leichterer Zurückwerfung. Hätten zum Beispiel die den Durchmesser durchlaufenden rothen Strahlen genau 250 Wechsel ihres Zustandes erlitten, und andre, die eine kürzere Sehne durchlaufen, 249, noch andre in einer noch kürzern Sehne nur 248, so liegen dazwischen Sehnen, die keinen ganzen Wechseln entsprechen, und nur an jenen Stellen werden die rothen Strahlen durchgelassen; und so wie hier die durch *eine* Kugel gehenden Strahlen Ringe auf einem dahinter liegenden Papiere darstellen müſsten, so muſs nach Newton's Ansicht auch die mit solchen Kügelchen erfüllte Luft uns Ringe um die Sonne darstellen. — Hätte Newton die später aufgestellte Meinung gekannt, daſs die sichtbar niedergeschlagenen Dunsttheilchen aus hohlen Bläschen bestünden, so hätte er diese Ansicht wohl noch mehr unterstützen können. Denn gewiſs, wenn eine Schicht Seifenblasen, überall gleich dick und alle völlig gleich, vor der Sonne schwebte, so müſsten solche Ringe um die Sonne gesehen werden. Indeſs scheint es doch nicht, daſs es der Mühe werth wäre, diese Betrachtung weiter zu verfolgen, theils weil (so viel ich einsehe) der Durchgang durch mehrere solche Bläschen eine völlige Mischung der Farben hervorbringen würde, und also die Betrachtung *einer* hohlen Kugel, durch welche die Sonne angesehen würde, hier zu nichts führt, theils weil, wenn die um die Sonne gesehenen Höfe vermöge der durchgelassenen Strahlen gesehen werden, doch wohl die um den Schatten von Bouguer und Scoresby gesehenen, vermöge der zurückgeworfenen Strahlen erscheinen und folglich die umgekehrte Farbenfolge haben müſsten, was aber nicht der Fall war.

Huygens's Theorie bezieht sich nur auf die gröſsern Höfe, und da auch nach T. Mayer's Theorie das Roth an der innern

---

1 Vergl. Priestley's Geschichte der Optik, übers. v. Klügel. S. 434.

Digitized by Google

Seite des Ringes erscheinen muſs, welches bei den groſsen Höfen der Fall ist, nicht aber bei den kleinen, so erwähne ich sie hier nicht. Von Wood's Théorie[1] will ich die Hauptsache anführen. Die Voraussetzung, daſs die Dunsttheilchen hohle Wasserbläschen sind, und daſs die durch die äuſsere Oberfläche dieser Wasserschale eindringenden Strahlen an der innern Oberfläche reflectirt werden, ehe sie in die Höhlung eindringen, macht die Grundlage seiner Theorie aus. Wird der einfallende Strahl Fig.
MB nach BE gebrochen, in E an der innern Wand der Hülle 102.
nach EG zurückgeworfen, und nach GO gebrochen, so sieht das Auge O durch diesen Strahl ein Bild nach der Richtung OG, und da der scheinbare Abstand dieses Punctes G von dem unendlich entfernten leuchtenden Puncte M, = MOG = HDM = BCG = 2.BCE ist, BCE aber für minder gebrochene Strahlen gröſser ist, so sieht das Auge O das rothe Bild am weitesten von der Sonne entfernt. Wird der Strahl nach dreimaliger Reflexion so wie BEG.LNP, zum Auge hin gebrochen, so ist der Abstand doppelt so groſs, und der zweite gleichfärbige Ring muſs doppelt so weit als der erste von der Sonne abstehen. Daſs die Beobachtungen diesen Abstand nicht genau doppelt so groſs angeben, hält Wood für Beobachtungsfehler, gesteht aber zugleich, daſs genaue Beobachtungen erst die Richtigkeit seiner Theorie bestätigen müſsten. Den Zweifel, ob denn die so zum Auge kommenden Strahlen *wirksame* Strahlen sind, oder ob nicht, da aus ganz verschiedenen Richtungen solche Strahlen zu uns gelangen können, das Vorglänzen eines bestimmten Punctes ganz wegfalle, sucht er dadurch zu heben, daſs er bemerkt, wenn MB senkrecht auf den Radius einfalle, so sey BE der äuſserste gebrochene Strahl, und obgleich zwischen F und E Strahlen auffallen können, die durch Zurückwerfung zerstreut werden, so gelange doch keiner über E hinaus, und der von hier zurückgeworfen ins Auge gelangende bezeichnet also allerdings eine Grenze, jenseits welcher das Auge kein Licht auf diese Weise mehr erhält.

Wood berechnet den Halbmesser des violetten Hofes = 29′ 10″, wenn der Halbmesser des rothen = 1° ist. Ich will mich mit umständlichen Bemerkungen über und gegen diese Theorie nicht aufhalten. Daſs die nicht strenge doppelte Grö-

1 Mem. of the phil. Soc. of Manchester. Vol. III. 1790. p. 336.

ſe des zweiten Hofes in Vergleichung gegen den ersten schon ein bedeutender Einwurf ist, daſs eine dreimalige Reflexion da, wo drei Farbenfolgen sichtbar sind, statt finden müſste, und daſs eine so oft wiederholte Reflexion schwerlich noch ein kenntliches Bild geben könnte, und endlich daſs jene Grenze der Strahlen wohl nicht Grund genug giebt, um einen so sehr deutlichen Ring zu erklären, scheint mir sehr gegen diese, nicht ohne Scharſsinn dargestellte Theorie zu zeugen. Ueberdieſs hat die Fraunhofer'sche Theorie ihre Stütze in den übrigen, vorhin erwähnten Phänomenen, und die Höfe durch angehauchtes Glas lassen sich gewiſs nicht aus Wood's Theorie erklären.

## Von den gröſseren Höfen, welche in Verbindung mit Nebensonnen und andern Kreisen erscheinen.

### Beschreibung der Phänomene.

Die Erscheinungen, welche sich hier zeigen, sind so mannigfaltig, daſs schon die Beschreibung derselben, und die Unterscheidung dessen, was wesentlich zu dem Phänomene gehört, und was vielleicht nur durch Zufälligkeiten hervorgeht, Schwierigkeiten hat; — die Erklärung hat noch weit gröſsere, und jeder einzelne Umstand läſst sich schwerlich schon jetzt völlig erklären, jedoch reicht die von Venturi am besten durchgeführte Erklärung, die ich noch zu vervollständigen mich bemüht habe, schon sehr weit und darf wohl als die der Hauptsache nach richtige angesehen werden.

Ich fange mit der Beschreibung des Phänomens an, so wie es erscheint, wenn es am vollkommensten ist, und lege dabei Lowitz's[1] Beschreibung des am 29. Juni 1790 in Petersburg beobachteten Phänomens zum Grunde. In dieser Vollkommenheit sieht man es nur ungemein selten, doch haben von Hoff und Kries in Gotha am 12. Mai 1824[2] und Schult, Hansteen und Segelke am 27. März 1826 in Norwegen sehr nahe hiermit übereinstimmende Erscheinungen gesehen[3], auf die ich

1 Nov. Act. Acad. Petrop. Tom. VIII. p. 384.

2 De Zach Cor. astron. X. 533.

3 Hansteens Magaz. for Naturvid. 1826. 1 Hft. S. 154.

Digitized by Google

hier mit Rücksicht nehmen will, andre Beobachtungen, wo die Erscheinung mehr oder minder ausgebildet war, erwähne ich nachher[1].

Bei einer mit Dünsten, gleich einem Nebel, erfüllten Atmosphäre, zeigte sich die in *Petersburg* beobachtete Erscheinung fünf Stunden lang von $7\frac{1}{2}$ Uhr bis $12\frac{1}{2}$ Uhr, jedoch nicht immer gleich vollständig. Die Haupttheile des Phänomens waren folgende:

1. Ein Ring von ungefähr 22 Grad Halbmesser, welcher die Sonne umgiebt. Er zeigt an der inneren Seite Roth und an der äuſsern Seite ein ins Bläuliche gehendes Weiſs. Lowitz Fig. 103.
sah statt dieses gewöhnlich einfachen Kreises zwei sich oben und unten durchschneidende Kreise b d c e, und die Norwegischen Beobachter sahen sogar drei, welches beides ungewöhnlich ist. Nach Aepinus Beobachtungen kommen die seitwärts liegenden Bogen, die er als elliptische Bogen ansieht, öfter vor. 2. Ein Kreis, welcher die Sonne zum Mittelpuncte hatte, z z z und ebenfalls farbig erschien. Aus andern Beobachtungen ist bekannt, daſs dieser Kreis reinere Regenbogenfarben zu zeigen pflegt, als der erstere, und daſs sein Halbmesser doppelt so groſs ist, als der des erstern. Das Roth ist auch hier der Sonne am nächsten. 3. Ein weiſser, farbenloser horizontaler Kreis a b z f h g c, welcher durch die Sonne geht, und den ganzen Himmel umgiebt. 4. Auf diesem standen bei dem Petersburger Phänomene fünf Nebensonnen. Zwei derselben x und y standen etwas auſserhalb des kleinern Ringes, statt daſs man sie gewöhnlicher in dem Durchschnitte dieses Ringes mit dem Horizontalkreise sieht; sie waren gefärbt und kehren allemal der Sonne ihre rothe Seite zu, sie hatten lange glänzende Schweife, die sich nach $x\xi$, $y\eta$ auf dem Horizontalkreise fort erstreckten; die farbigen Bogen x i, y k, die Lowitz als von ihm ausgehend beobachtete, sind sonst wohl nie gesehen worden. 5. Die dritte Nebensonne oder Gegensonne h stand auf dem Horizontalkreise der Sonne gerade gegenüber, sie war weiſs und blaſs. 6. Die vierte und fünfte Nebensonne f und g waren ebenfalls weiſs, und haben sich auch bei allen über sie vorhandenen Be-

---

1 Hugenius hat mehrere gesammelt. Opuscula posth. 1703.

obachtungen so gezeigt, sie sind zwar schon ein seltnerer Theil der Erscheinung, aber doch manches Mal gesehen worden, und nach einer ältern Beobachtung scheinen sie da zu stehen, wo ein Kreis um die Sonne, von 90 Grad Halbmesser, jenen Horizontalkreis schneidet. 7. Oben am innern Ringe bei d war ein so lebhafter Glanz, daſs das Auge ihn kaum zu ertragen vermochte. Hier, genau vertical oberhalb der Sonne ist auch der gewöhnlich einfache Ring sehr oft viel glänzender, und man sieht hier zuweilen einen gegen die Sonne convexen Bogen, der alsdann dem Bogen ganz entsprechend scheint, welchen 8. Lowitz in ref am untersten Puncte jenes Ringes sah, und den er als sehr hell und breit, aber von kleinerm Halbmesser, als irgend einen der andern, beschreibt. 9. Am oberen Puncte z des gröſsern Ringes erschien ein Bogen pzq, der convex gegen die Sonne war. Merkwürdig ist, daſs dieser gegen die Sonne convexe Bogen mit eben den schönen Regenbogenfarben, wie zzz ziemlich oft gesehen wird, wenn auch zzz selbst fehlt, daſs er aber auch dann senkrecht über der Sonne in derselben Entfernung steht, die der Ring zzz zu haben pflegt. 10. Ferner sah Lowitz zwei Kreisbogen hld und hmd, die durch die Gegensonne gingen und die er als durch d, den oberen Punct des innern Ringes gehend, zeichnet. Sie waren weiſs und so blaſs, daſs manche Personen sie nicht erkennen konnten; Lowitz sagt, sie begegneten einander in der blendenden Helle in d nahe bei der Sonne; da aber Schult sie als durch die Sonne selbst gehend zeichnet, so bin ich sehr geneigt, auch bei Lowitz's Beobachtung anzunehmen, daſs sie sich erst in der Sonne selbst durchkreuzt haben würden, wenn das Auge sie deutlich genug hätte verfolgen können, und deswegen stellt die Figur sie auf diese Weise dar. So selten diese Kreise sind, so kommen doch Spuren von ihnen auch bei andern Beobachtern vor, und man findet die Angabe, daſs sie sich unter Winkeln von 60 Graden durchkreuzen, was mit Lowitz's Zeichnung und den Angaben der Norwegischen Beobachter, auch mit von Hoff und andern wohl übereinstimmt. 11. Endlich sah Lowitz noch zwei den äuſsern Ring berührende Kreise tt, vv, deren Berührungspuncte nach der Zeichnung etwa 60 Grade von dem untern Puncte lagen. Sie glichen an Farbenglanz und an Breite ganz dem Regenbogen. Auch sie kommen sehr selten vor; bei den Norwegischen Phänomenen zeichnet Schult sie in etwas anderer Stellung, ich glaube aber

Digitized by Google

zeigen zu können, daſs sie ganz mit den von Lowitz beobachteten übereinstimmen.

So bestand das von Lowitz beobachtete Phänomen, wie er zum Schlusse bemerkt, aus 12 Bogen, unter denen 9 farbige waren, welche sämmtlich das Roth der Sonne zukehrten, und man kann wohl die Behauptung wagen, daſs es wenigstens noch vier Kreise oder Bogen mehr geben könnte, von denen zwei bei andern Gelegenheiten wirklich gesehen worden sind.

Um diese sehr verwickelte Erscheinung, die, wenn man alle einzelnen Beobachtungen durchgeht, noch mehr Mannigfaltigkeit darbietet, zu erklären, will ich mich zuerst zu zeigen bemühen, daſs man drei verschiedene Classen von Kreisen unterscheiden muſs, die allem Anschein nach jede eine eigene Erklärung fordern; zu diesen kommen noch einige andere Kreise und Bogen, die ich in eine vierte Classe bringen will. Es giebt nämlich erstlich hier Kreise, die durch die Sonne gehen, zweitens Kreise, die eigentlich Höfe um die Sonne heiſsen könnten, deren Centrum die Sonne ist, drittens Kreise oder vielmehr Bogen, die niemals zu vollkommenen Kreisen werden, welche die Höfe von auſsen berühren. Ueber die vierte Classe will ich jetzt noch gar nichts sagen, da die dahin zu rechnenden Phänomene zum Theil von zufälligen Umständen abhängen mögen. Um die Erscheinungen, die sich bei jeder einzelnen Beobachtung darbieten, richtig zu übersehen, muſs man sie auf eine Kugel aufzeichnen, indem die Zeichnung in einer Ebene die Theile nie alle in ihrer richtigen gegenseitigen Lage darstellen kann; ein solches Auftragen auf die Kugel hat mir einige Aufschlüsse gegeben, die ich für neu halte.

Unter den Kreisen, die durch die Sonne gehen, ist der Horizontalkreis am öftersten zu sehen, und selbst, wenn er zu schwach ist, um deutlich erkannt zu werden, so deuten doch die ungemein oft sichtbaren Nebensonnen in der Gegend von b und c sein Daseyn an. Zuweilen ist mit ihm zugleich ein verticaler durch die Sonne gehender Kreis vorhanden, der dann entweder bei der Sonne selbst (oder beim Monde, in dessen Nähe man die Erscheinung leichter gewahr wird), oder in h, der Sonne gegenüber, ein aufrechtes weiſses Kreuz hervorbringt. Diese Kreise hat man schon lange aus zurückgeworfenen Strahlen erklärt, und eben so muſs man, glaube ich, die seltner erscheinenden Kreise h l a, h m a, erklären, welche, so viel mir

bekannt, noch nicht erklärt sind. Von diesen ist es merkwürdig, daſs die meisten Zeichnungen ihnen eine Neigung, die man etwa für 60 Grade erkennt, beilegen, und daſs auch wirklich in den Fällen, wo man nur Stücke von ihnen in der Gegend h sah, der Winkel = 60°, bestimmt angegeben wird. Sie sind ebenfalls weiſs, und selbst in den Fällen, wo man sie deutlich erkannte, ungemein blass erschienen, gewöhnlich bemerkt man sie gar nicht. Daſs sie sich nicht in d schneiden, sondern in der Sonne selbst, dafür spricht zuerst die Beobachtung von Lea[1] und von Schult[2], zweitens die Uebereinstimmung mit den übrigen Theilen der Erscheinung, drittens der Umstand, daſs Lowitz in dem hellen Bogen bei d leicht diesen schwachen Schimmer aus den Augen verlieren konnte; er sagt auch in der Beschreibung bloſs, sie hätten sich nahe bei der Sonne durchschnitten, in dem blendenden Glanze bei d.

Ihre Neigung von 60 Graden scheint mir eine wichtige Bestätigung für die Theorie abzugeben, die alles auf Schneekrystalle zurückführt. Ihr farbenloser Glanz, worin sie dem horizontalen, durch die Sonne gehenden Kreise gleichen, läſst auf bloſse Spiegelung, ohne Mitwirkung von Brechung des Lichtes schlieſsen.

Die eigentlichen Höfe oder Ringe, deren Mittelpunct die Sonne ist, scheinen ebenso wieder auf eine gleichmäſsige Weise erklärt werden zu müssen. Der innerste, in 22 Grad Abstand von der Sonne, der zweite in 44 Gr. Abstand von der Sonne sind oft gesehen worden; ein dritter, 90 Grade von der Sonne, ist nur einmal von Hevelius gesehen worden, sehr matt und ohne Farben; aber die Nebensonnen f und g scheinen darauf hinzudeuten, daſs er öfter in sehr schwachem Lichte vorhanden seyn mag, allein nur da kenntlich wird, wo er sich mit dem Lichte des Horizontalkreises vereinigt oder wo er stärkeres Licht darbieten kann. Diese Kreise müssen wohl alle auf eine ähnliche Weise erklärt werden, doch bietet das farbenlose Licht der Nebensonne f, g, dabei eine Schwierigkeit dar.

Am verwickeltsten wird das Phänomen durch die Berührungskreise, die an beiden innern Höfen sich zeigen. Fast immer, wenn man auch nur den einfachen ersten Ring sieht, fin-

1 Poggend. VII. 530.

2 Hansteen's Magazin 1826. I. 154.

det man ihn gerade über der Sonne bei d heller, als weiter herabwärts, und nicht ganz selten zeigt sich hier ein eben solcher berührender Kreisbogen, wie er in der Zeichnung an dem untern Puncte dieses Hofes bei e ist. Und ebenso, vertical über der Sonne, findet man einen berührenden Bogen am zweiten Ringe. Diese berührenden Bogen haben eben die Farben, wie die von ihnen berührten Höfe und zwar auch, so wie diese, das Roth der Sonne am nächsten. Daſs sie alle durch einerlei Mittel hervorgebracht werden, ist offenbar. Viele Beschreibungen geben das Zenith als Mittelpunct von p z q an, aber dieses ist wohl nur zufällig, und leitet irre, da offenbar r e s ebenso entstehen muſs, und gewiſs nicht seinen Mittelpunct im Zenith hat.

Aber ganz diesen Berührungskreisen ähnlich scheinen mir nun auch die Bogen t t und v v, ja vermuthlich auch x i, y k zu entstehen. Es ist nämlich höchst merkwürdig, daſs die Bogen t t, v v, ihre Berührungspuncte gerade um 60 Grade vom tiefsten Puncte des zweiten Ringes entfernt hatten, und daſs sie also, wenn wir unsere, nach Lowitz dargestellte Zeichnung auf eine Kugelfläche auftragen, genau eben die Lage gegen h l a, h m a haben, welche ein im tiefsten Puncte an den zweiten Ring berührender Kreis gegen h f z a g h, haben würde. Die unter 60 Grad gegen einander geneigten Theile der Schneekrystalle müssen uns also ebenso zu der Erklärung dieser Kreisbogen aus der für p z q zu findenden leiten, wie sie h l a, h m a auf die Erklärung des Horizontalkreises zurückführen.

Aber auch die Bogen x i, y k, scheinen mir am innern Ringe ganz eben das zu seyn. Lowitz zeichnet sie freilich mehr als bei i, k, schneidend, aber da k und i gerade auch 60 Grade vom untern Puncte liegen und die Form des nicht sehr langen Bogens wohl nicht so strenge erkannt werden konnte, so hege ich die Vermuthung, daſs auch sie zu den Berührungskreisen gehörten. Das Verschwinden der Nebensonnen x, y, enthält einen Grund für diese Vermuthung.

Einen Einwurf gegen diese Zusammenordnung scheint die Beobachtung von Schult zu enthalten. Die so selten vorkommenden, nicht in den höchsten und tiefsten Puncten der Höfe berührenden Kreise sind hier, als den weiſsen Horizontalkreis von auſsen berührend, gezeichnet, und man geräth zuerst in Zweifel, ob dieses nicht ein ganz neuer Theil des Phänomens



Digitized by Google

sey. Aber wenn man für 32 Grade Sonnenhöhe das ganze Phänomen auf die Kugel zeichnet, so sieht man, daſs der Kreis, welcher 90 Grade von der Sonne den Horizontalkreis berührte, ganz wohl eben derselbe seyn konnte, welcher 60 Grade vom niedrigsten Puncte den zweiten Ring berührte, und da Schult den zweiten Ring damals gar nicht erkannte, so konnte er in seiner Zeichnung das nicht andeuten, was ohne Zweifel statt gefunden hätte, wenn nicht der zweite Ring zufällig so schwach an Licht gewesen wäre, nämlich eine gleichzeitige Berührung beider Kreise.

Diese Uebersicht giebt, wie ich hoffe, wenigstens eine etwas klarere Anleitung zu Feststellung derjenigen Puncte, die bei der Erklärung müssen ins Auge gefaſst werden.

## Meinungen über die Ursache dieser Erscheinungen.

Cartesius schreibt den Eissternchen, die in den Wolken vorhanden sind, die Entstehung der Höfe und Nebensonnen zu. Diese Sternchen sind in der Mitte dicker als an den Seiten und je dicker sie sind, desto gröſser zeigt sich der Durchmesser der Höfe. Der Brechung des auf sie fallenden Lichtes schreibt er die Entstehung der leuchtenden Kreise zu, giebt aber keinen Grund an, warum gerade von einer bestimmten Gegend Strahlen genug zu uns gelangen. Nachher nimmt er eine kugelförmige Wolke an, die von einem warmen Südwinde und kalten Nordwinde, welche zugleich wehen, gebildet wird, an deren Südseite die zerschmelzenden und wieder gefrierenden Schneetheilchen gleichsam einen Ring aus ununterbrochenem durchsichtigem Eise hervorbringen, der gegen die Sonnenseite dicker ist. „*Quibus positis facile intelligitur*," (allerdings, wenn man Hypothesen annimmt, die ganz unglaublich sind, so erhellet endlich leicht!), daſs die dieses Eis erhellenden Sonnenstrahlen auf den Schnee der Wolke zurückspringen und uns diese als einen groſsen weiſsen Kreis zeigen. Wie da die einzelnen Nebensonnen entstehen, will ich hier nicht weiter angeben. Um die Ringe um die Sonne zu erklären, bedarf er auſser dem ununterbrochenen Eise noch kleinerer Eisstücke, die oberhalb und unterhalb vorkommen. Daſs die Nebensonnen im Durchschnittspuncte des Hofes und Horizontalkreises lagen, sey nur zufällig

so beobachtet worden, Beobachter an etwas entfernteren Orten hätten es gewiſs nicht so gesehn[1].

Huygens gab[2] eine unstreitig weit bessere Theorie der Höfe und Nebensonnen an, die selbst Newton mit Beifall anführt. Da sich innerhalb des innern Hofes der Himmel etwas dunkler zeigt, so glaubte er annehmen zu müssen, die dort liegenden Körper lieſsen das Licht nicht so gut durch, und dieses brachte ihn zu der Ueberzeugung, es müſsten solche Höfe entstehen, wenn runde Körper innen aus einem minder durchsichtigen Schneekerne bestehend, auſsen mit Wasser umgeben, sich in der Luft befänden. Diese möchten wohl klein, wie Rübsaamen, seyn, und könnten dann leicht in der Luft schwebend erhalten werden: hier läſst sich nun allerdings leicht zeigen, daſs bei bestimmtem Verhältnisse der Halbmesser des undurchsichtigen Kerns und der durchsichtigen Schicht, Höfe von bestimmter Gröſse erscheinen müſsten. Hugenius findet nach den sogleich zu erwähnenden geometrischen Gründen, daſs der Durchmesser der innern Kugel = 0,48 des ganzen Durchmessers seyn müsse, um einen Hof von 22,5 Graden Halbmesser, und = 0,68 um einen Hof von 45 Gr. Halbmesser hervorzubringen. Was die Nebensonnen betrifft, so legt er dabei das von ihm und Cartesius unter dem Namen des römischen Phänomens beschriebene Phänomen der Nebensonnen zum Grunde, wo die beiden concentrischen Ringe um die Sonne, der durch die Sonne gehende Horizontalkreis und auf diesem vier Nebensonnen, zwei in 22 bis 23 Gr. Entfernung von der Sonne, zwei sehr weit von der Sonne (die mit f, g, bezeichneten), beobachtet waren. Die längliche Form der Schneenadeln, die man oft wahrnimmt, veranlaſste ihn, zur Erklärung des weiſsen Horizontalkreises Eiscylinder anzunehmen, die, mit ihrer Axe vertical schwebend, das Sonnenlicht, wie verticale Spiegel zurückwerfen, und einen hellen horizontalen Ring darstellen. Auch diese Cylinder haben, glaubt er, um die Axe herum einen undurchsichtigen Kern, der durch Aufthauen an der Sonne mit einer durchsichtigen Wasserschicht umgeben ist, oder auch, wenn

1 Cartesii meteora. Cap. IX. §. 4 und Cap. X.

2 Dissertatio de coronis et parheliis in d. opusc. posth. Lugdun. Bat. 1703.



Digitized by Google

dieses den schneeigen Kern umgebende Wasser wieder gefriert, eine durchsichtige Eishülle erhält; und durch die Brechung in dieser durchsichtigen Hülle kommen Lichtstrahlen aus einem gewissen Abstande von der Sonne zum Auge, wodurch sich dann die zwei der Sonne nächsten Nebensonnen darstellen. Hugenius berechnet regelmäſsig, wo diese Nebensonnen stehen müssen, wenn das Verhältniſs der Halbmesser des undurchsichtigen Cylinders und der durchsichtigen Schicht ein gegebenes ist, und wie die Entfernung von der Sonne mit der Höhe der Sonne über dem Horizonte zunimmt, und findet allerdings viel Uebereinstimmung mit den Beobachtungen. Eine Schwierigkeit findet Huygens in der Frage, warum denn der innere Ring um die Sonne allemal durch die Nebensonne gehe. Diese Schwierigkeit hätte er vielleicht ganz als unbedeutend angesehn, wenn er gewuſst hätte, was spätere Beobachtungen ergeben, daſs die Nebensonnen wirklich auſserhalb des Ringes erscheinen können; aber er giebt einen nicht unpassenden Grund an, warum der Ring sich in eben dem Maſse vergröſsere, wie bei zunehmender Sonnenhöhe der Abstand der Nebensonnen von der wahren Sonne zunimmt. Da man nämlich sehr natürlich auf den Gedanken geräth, daſs die Cylinder sich in eine sphärisch gerundete Fläche, statt der ebnen Grundfläche endigen müssen, so läſst sich leicht übersehn, daſs die mit einer solchen Hülle umgebenen undurchsichtigen Cylinder, selbst wenn sie vertical schweben, da, wo sie uns oberhalb der Sonne erscheinen, durch ihren obern kugelförmigen Theil, da, wo sie uns unterhalb der Sonne liegen, durch ihren untern kugelförmigen Theil uns die Lichtstrahlen ebenso zusenden, wie es kugelförmige Körner thun würden, und daſs die horizontal neben der Sonne liegenden uns das Licht nach den für den Cylinder ausgerechneten Gesetzen zusenden; die Gegend des am Ende zugerundeten Cylinders aber, welcher den Uebergang von der cylindrischen Fläche zur sphärischen bildet, muſs offenbar geeignet seyn, die nach der horizontalen Richtung etwas ausgedehnte Form des Ringes hervorzubringen. — Man übersieht, daſs sich auf diese Weise sogar ein doppelter erster Hof erklärt, der nach Aepinus Bemerkung so oft vorkommt[1], nämlich ein kreisförmiger in etwa 22 Gr. Abstand von der Sonne, und ein elliptischer,

1 Nov. Comm. acad. Petrop. VIII. 392.

Digitized by Google

der jenen oben und unten berührt, aber in horizontaler Richtung sich weiter, nämlich bis dahin ausdehnt, wo die Nebensonne erscheint. Die beiden Nebensonnen endlich, die man zuweilen um mehr als 90 Grade von der Sonne entfernt sieht, erklärt Hugenius ganz nach der Theorie des Regenbogens. Auch in den Cylindern kann, wenn auch der undurchsichtige Theil es zuweilen hindert, ein zuerst gebrochen eintretender Lichtstrahl an der Stelle, wo er austreten sollte, reflectirt und dann zum Auge hin gebrochen werden, und eben die Regeln, nach welchen der Halbmesser des Regenbogens berechnet wird, kommen auch hier zur Berechnung des Abstands der Nebensonne von der Sonne in Anwendung. Dieser Abstand wächst mit der Sonnenhöhe kann aber nie, selbst wenn die Sonne im Horizonte steht, weniger als 138 Grade betragen. Dieser Abstand ist nun allerdings zu groſs; aber Hugenius, der nur wenige Beobachtungen vor sich hatte, beruhigte sich mit der Auskunft, daſs die Distanz wohl nicht genau genug beobachtet sey. Auch den zweiten Umstand, worin diese Erklärung von der Beobachtung abweicht, bemerkt er, nämlich, daſs diese Nebensonne farbig erscheinen sollte, in der Beobachtung jedoch als weiſs angegeben werde; aber auch hier begnügt er sich, dieses aus der Schwäche ihres Lichtes zu erklären, welche nicht gestatte, die Farben zu unterscheiden. Er führt dabei auch eine alte Beobachtung an, die eben diese Nebensonne roth angebe; aber die neuern Beobachtungen geben ihnen sämmtlich einen weiſsen Glanz.

Die convexen Bogen, welche die Höfe in ihren höchsten Puncten berühren, glaubt Hugenius aus horizontal schwebenden Cylindern erklären zu können. So wie nämlich für einen niedrigen Stand der Sonne die verticalen Cylinder genau in der Entfernung, welche dem Halbmesser des einen oder andern Ringes gemäſs ist, Nebensonnen hervorbringen, so bringen auch die horizontalen Cylinder, wenn sie ihre Axen senkrecht gegen den Sonnenstrahl haben, genau ebenso Nebensonnen vertical über oder unter der Sonne hervor. Schweben aber horizontale Cylinder etwas von der durch die Sonne gehenden Vertical-Ebene entfernt, so zeigen sich Farbenbilder in ihnen, die weiter von der Sonne abstehen, und diese sind es, die, an einander gereihet, jene Bogen bilden. Huygens hat mit der schönen mathematischen Vollständigkeit, die ihm überall eigen ist, die

Digitized by Google

Bogen unterſucht, die ſo entſtehen müſſen, und findet, daſs ſie nur nahe um den Berührungspunct Kreisbogen ähnlich seyn können, die ihre convexe Seite gegen die Sonne kehren, aber die allerdings statt findende Unvollkommenheit der Beobachtungen läſst ihn ungewiſs, ob dieses Resultat der Theorie nicht etwa nur darum den Beobachtern entgangen sey, weil die entferntern Theile dieser Bogen matter erscheinen.

Diese Erklärung ist so vollständig, daſs man es den Physikern nicht verdenken kann, daſs sie lange Zeit sie als die richtige ansahen, und darüber den sehr passenden Gedanken Mariotte's, daſs es Prismen wären, die hier das Licht brechen, ganz in Vergessenheit kommen lieſsen. Doch ehe ich von dieser Erklärung des Mariotte rede, will ich die wichtigen Einwürfe gegen Huygens's Theorie und Mayer's ganz ähnliche Erklärung angeben.

Die Einwürfe sind von doppelter Art. Erstlich hat man es oft bezweifelt, daſs Eispartikelchen in der Luft wären, zu der Zeit, da die gröſsern Höfe sich zeigen; denn da man diese auch im Sommer selbst in unsern Gegenden sieht, und da einige der schönsten und vollkommensten Erscheinungen sich im Sommer bei hohem Stande der Sonne gezeigt haben, so schien es nicht glaublich, daſs Eis hier mitwirke, wenn gleich sich nicht leugnen lieſs, daſs die Nebensonnen besonders den nördlichen Gegenden eigen sind. Aber da alle Versuche, aus bloſsen Dünsten, denen man doch die Kugelform beilegen müſste, die Erscheinungen zu erklären, fehlgeschlagen sind, so hat man sich immer wieder genöthigt gesehn, auf Eisnadeln zurückzukommen. Zweitens ist es allerdings ein wichtiger Einwurf gegen Hugenius, daſs nach seiner Theorie das Verhältniſs zwischen dem Durchmesser des undurchsichtigen Kernes und dem Durchmesser der Wasserhülle oder der durchsichtigen Eishülle ein immer gleiches seyn muſs. Mag auch, wie die Beobachtungen allenfalls es anzunehmen gestatten, der Halbmesser des ersten Hofes von 21 bis 24 Graden variiren, so geht er doch darüber gewiſs nie hinaus, und es müſste gewöhnlich zwei Arten solcher Cylinder oder Kugeln geben, um die zwei Höfe zu bilden, und auſserdem keine mit mehr oder weniger durchsichtigem Wasser oder Eise umgebene Körper. Die Gröſse der Halbmesser beider Ringe, die doch sehr nahe in immer gleicher Gröſse wiederkehren, erscheint hier ganz als zufällig, was sie gewiſs nicht ist.

Um dem Einwurfe, daſs die Höfe so oft an warmen Tagen erscheinen, zu begegnen, führte Mayer eine der Huygens'schen in geometrischer Hinsicht sehr ähnliche. Theorie aus, die jedoch von jener sich dadurch unterscheidet, daſs sie mit der nicht unwahrscheinlichen Bemerkung anfängt, daſs wohl die Dünste, die wir uns als inwendig hohle Wasserkugeln zu denken pflegen, diese in der Mitte minder durchsichtige Kugeln seyn könnten. Allerdings ist es andern Erfahrungen gemäſs, anzunehmen, daſs der Lichtstrahl da die Wasserkugel leichter und ungeschwächter durchdringe, wo er, in die Wasserhülle eindringend, nicht durch den inneren, leeren Raum zu gehen braucht; denn ein Strahl, der in die Wasserhülle eintritt, dann in den hohlen Raum, wieder in die Wasserhülle und endlich in die Luft gelangt, erleidet vier Zurückwerfungen, statt daſs der bloſs die Wasserhülle durchlaufende Strahl nur durch zwei Zurückwerfungen geschwächt wird.

Aber wenn solche in der Mitte minder durchsichtige oder ganz undurchsichtige Kugeln vor der Sonne schweben und l m den undurchsichtigen Theil bedeutet, so sieht ein Auge B welches hinter dem Brennpuncte A steht, die Sonne, welche wir hier als einen Punct ansehn, nicht; denn alle neben dem undurchsichtigen Kerne vorbeigehenden Strahlen, wie S a b A C gelangen nicht nach B. Ein Auge in c dagegen würde, vermöge der in a einfallenden, in b ausfallenden Strahlen, Sonnenlicht von der Richtung b c her empfangen, oder in dieser Richtung ein schwaches Sonnenbild sehn. Da alle durch die durchsichtigen Schichten gehenden Strahlen auf den zwischen C und D liegenden Raum fallen, C also die beiden äuſsersten Strahlen aus den neben einander liegenden Kugeln a d e b, a' d' e' b', empfängt, wenn e' C mit e D parallel ist, so stellt e' C n die Breite des nach C Licht sendenden Raumes, dagegen b C S' den scheinbaren Abstand des innern Randes vom leuchtenden Puncte, vor. Fig. 104.

Daſs das so eben in Beziehung auf Kugeln, die nach einer Seite liegen, Gesagte, Anwendung auf alle Richtungen rund um den leuchtenden Punct findet, daſs also ein heller Ring, dessen scheinbarer Halbmesser = S' C b' ist, um den leuchtenden Körper entsteht, ist klar. Ebenso einleuchtend ist es, daſs für blaues Licht der Brennpunct A der Kugel näher liegt, also der blaue Ring entfernter von der Sonne erscheinen muſs, als der rothe; und dieses ist der Erfahrung gemäſs. Aber auch

Digitized by Google

das ist klar, daſs wenn auch der leuchtende Körper fast wie ein Punct erschiene, dennoch diese Ringe, wenn sie aus weiſsem Lichte entstände, keine reinen Farben zeigen könnten, daſs zwar das äuſserste Roth am einen, das äuſserste Violett am andern Rande hervortreten, in der Mitte aber alle Farben sich vermischen würden, und dieses desto mehr, je dicker die durchsichtige Hülle ist.

Hieran knüpft sich eine andere Betrachtung. Wenn ein Strahl S a so auffällt, daſs er um den Bogen a g $= \varphi$ von dem durch den Mittelpunct gehenden Strahle entfernt ist, so dringt er, wenn m das Brechungsverhältniſs ausdrückt, so ein, daſs Sin. G a b $=$ m. Sin. $\varphi$ ist, und weil beim Ausfallen G b a $=$ G a b, und Sin. G b c $= \frac{1}{m}$ Sin. G a b $=$ Sin. $\varphi$, G b c $= 180° - \varphi$ ist, so ist S″ c b $= \psi =$ G A b $= \varphi -$ A G b $= \varphi -$ (2 . G a b $- \varphi$) $= 2$ ($\varphi -$ G a b). Dieser Winkel wird für die Brechung im Wasser, wenn $\varphi = 45°$ ist, für violette Strahlen $= 26_{\frac{1}{4}}$ Gr., für rothe Strahlen $= 25\frac{1}{8}$ Gr. und so weit von der Sonne würde, wie Newton und Mayer angeben, eine Wasserkugel den hellsten Glanz zeigen; m müſste $= 0{,}786$ seyn, wenn jener Abstand $= 22\frac{1}{2}$ Gr. betragen sollte. Doch diese Abweichung von der Erfahrung ist nicht die wichtigste, sondern als viel wichtigerer Einwurf steht dieser Mayer'schen Theorie das entgegen, daſs der Ring nicht so deutlich vorglänzend vor dem innern Raume sich zeigen könnte, wenn nicht der innere Theil der Kugel undurchsichtig wäre, und daſs das zu Darstellung immer gleicher Höfe nöthige Verhältniſs der Dicke der Wasserschicht zum Halbmesser der Kugel vielleicht bei Dunstbläschen so statt finden könnte, wie es, um *einen* Ring darzustellen, nöthig ist, aber doch schwerlich in zwei verschiedenen Arten von Dunstblächen so, daſs es zwei weit von einander entfernte Ringe hervorbringen könnte[1].

---

1 In Beziehung auf die Berechnung jenes Winkels von 26 Graden muſs ich noch eine Bemerkung beifügen. Den Grund, warum für $\varphi = 45°$ das Licht stärker als für jeden andern Werth gefunden werde, setzt Mayer, der hierin Newton folgt, darin, daſs erstlich die Menge des auf den Bogen a d fallenden Lichtes dem Cosinus des Winkels $\varphi$ proportional ist, zweitens aber die Zerstreuung der Strahlen dem Sin. $\varphi$. proportional sey; darnach sey für das Auge in A die Intensität des Lichtes dem Producte Sin. $\varphi$. Cos. $\varphi$. proportional,

Mayer fügt noch eine Erklärung derjenigen Höfe hinzu, welche das Roth auſsen haben, und glaubt, daſs sie aus Strahlen entstehen, die im Innern zweimal reflectirt werden; aber diese Meinung, daſs ein so sehr geschwächtes Licht hinreiche, uns solche Höfe zu zeigen, läſst sich wohl nicht gut annehmen.

Um hier sogleich die Bemühungen derer an einander zu reihen, welche in den Dunstbläschen eine Erklärung zu finden hofften, müſste ich eine von mir früher angestellte Untersuchung anführen, welche Brechungskraft das Fluidum im innern Raume der Dunstkugel besitzen müſste, um nach eben den Gesetzen, wie der Wassertropfen beim Regenbogen, einen farbigen Kreis von dem Halbmesser des innern Hofes hervorzubringen [1], aber

---

also für $\varphi = 45^\circ$ am gröſsesten. Hiergegen scheint mir ein Haupt-Einwurf der zu seyn, daſs darnach für die bei g einfallenden Strahlen die Intensität $= 0$ würde, selbst wenn die Kugel durchsichtig ist.

Um jene Betrachtung, ob irgendwo das Licht am stärksten werde, genau anzustellen, müſste man, dünkt mich, fragen: Wenn allemal ein gleicher Theil $= d\varphi$ des Kreises g d b dem auffallenden Lichte bloſs gestellt, der übrige aber verdeckt wäre, wie groſs würde dann die Erleuchtung in B, wenn $g\gamma$ dem Lichte offen ist, und die in CD, wenn a d dem Lichte offen ist. Es läſst sich leicht übersehen, Fig. 105.
daſs für eine Wasserkugel $\delta\varepsilon = \frac{1}{2}\, g\gamma$, also $B\beta = \frac{1}{2} \cdot \gamma g. \frac{AB}{A\delta}$, oder da $A\delta = \frac{1}{2} r$, und $\frac{g\gamma}{r} = d\varphi$ ist, $B\beta = AB.\ d\varphi$, also die Erleuchtung in $B\beta = \frac{r}{AB}$, wenn in $g\gamma$ auf dem Bogen $r\,d\varphi$ die Erleuchtung $= 1$ ist. Wenn man nun nach dem Vorigen $SAb = 2\varphi - 2\sigma$ findet und für Wasser $\text{Sin.}\ \sigma = \frac{3}{4}\ \text{Sin.}\ \varphi$ setzt, so wäre $CAD = d.\ SAb = 2.\ d\varphi - 2.\ d\sigma$ und

$$CD = AB.\ d.\ \text{Tang.}\ SAb.$$
$$= AB.\ d.\ \text{Tang.}\ (2\varphi - 2\sigma),$$

also, da auf a d nur die Lichtmenge $r\,d\varphi\ \text{Cos.}\ \varphi$ fällt, die Intensität der Erleuchtung $= \frac{r\ \text{Cos.}\ \varphi.\ d\varphi}{CD}$

$$= \frac{r\,d\varphi\ \text{Cos.}\ \varphi}{AB.\ d.\ \text{Tang.}\ (2\varphi - 2\sigma)}$$
$$= \frac{r}{AB} \cdot \frac{\text{Cos.}\ \varphi\ .\ \text{Cos.}^2\ (2\varphi - 2\sigma)}{2 - \frac{3}{2} \cdot \frac{\text{Cos.}\ \varphi}{\text{Cos.}\ \sigma}}.$$

Dieses giebt für $\varphi = 45^\circ$, $\sigma = 32^\circ\ 1'\ 40''$; $2\varphi - 2\sigma = 25^\circ\ 56'\ 40''$ jenen Werth $= \frac{r}{AB} \cdot 0{,}7634$; kleiner als für $\varphi = 0$.

1 Gilb. XI. 414.

da ich nachher eine bessere Erklärung zu geben hoffe, so wäre es überflüssig, dabei zu verweilen. Dagegen muſs ich doch Fraunhofer's Beurtheilung mehrerer allenfalls möglich scheinender Erklärungs-Arten anführen. Darunter hat folgende, wenn gleich auch sie sich als unrichtig zeigt, doch viel Scheinbares.

Fraunhofer bemerkt, daſs diejenigen Strahlen, welche bei einem hohlen Wasserkügelchen an der innern Oberfläche der dünnen Wasserschicht theilweise zurückgeworfen werden, eben nichts merkwürdiges darbieten; aber der Fall, da der Strahl wegen zu bedeutender Gröſse des Einfallswinkels gar nicht mehr in das dünnere Medium der innern Höhlung eintrete, scheine mehr Aufmerksamkeit zu verdienen. Die Betrachtung über diesen Fall, die mit Wood's Betrachtungen über die kleinern Höfe einige Aehnlichkeit hat, mag als letzter Versuch, ob sich die Höfe aus bloſsen Dunstbläschen erklären lassen, hier stehen.

Fig. 106. Es sey $Ca = r$, der äuſsere, $CF = \varrho$ der innere Halbmesser der hohlen Wasserkugel. Ein Lichtstrahl Sa falle so auf, daſs der Einfallswinkel $aCa = \varphi$ ist; er werde nach ab gebrochen und es sey $\text{Sin. } Cab = m \text{ Sin. } \varphi$. Da $Ca = r$, $Cb = \varrho$, so ist $\text{Sin. } Cba = \frac{m r . \text{Sin. } \varphi,}{\varrho}$ und für den gebrochenen Strahl $\text{Sin. } Cbc = \frac{1}{m} \cdot \frac{m r \text{Sin. } \varphi}{\varrho} = \frac{r}{\varrho} \text{ Sin. } \varphi$. Bekanntlich kann aber der Strahl bei b nicht in das dünnere Medium übergehen, wenn $\frac{r}{\varrho}$ Sin. $\varphi$ gröſser als 1 ist, sondern dann geht die Brechung in gänzliche Zurückwerfung über, und $\text{Sin. } \varphi = \frac{\varrho}{r}$ ist die Grenze, wo diese einzutreten anfängt. Da also ist $\text{Sin. } Cba = m$ und der zurückgeworfene und dann gebrochene Strahl dO macht mit aS einen Winkel, welcher doppelt so groſs ist, als der, welchen Sa mit Cb macht, oder ist $= 2. S'Cb = 2 \ (\varphi + 180^\circ - Cab - Cba)$. Da hier m ungefähr $\frac{3}{4}$ ist, so würde $\frac{\varrho}{r}$ ungefähr zwischen 0,98 und 0,97 liegen müssen, damit das so entstehende Sonnenbild 22 Grade von der Sonne entfernt erscheine; das violette Sonnenbild würde ungefähr $\frac{1}{4}$ Grad vom rothen entfernt liegen, oder der rothe Ring

um soviel der Sonne näher seyn. Dieses würde der Beobachtung der Höfe entsprechen; aber die Höfe sind gerade an ihrer innern Seite mit einem sehr scharfkenntlichen Rande abgeschnitten und der weiter gegen die Sonne liegende Raum ist dunkler, statt daſs die Zurückwerfung der Strahlen auf die eben betrachtete Weise einen solchen dunkeln Raum nicht giebt. Denn nicht bloſs die unter dem eben berechneten Winkel einfallenden Strahlen werden reflectirt, sondern alle die, bei welchen $\varphi$ einen noch gröſsern Werth hat, und diese gelangen in Richtungen zum Auge, die noch weniger von der Richtung gegen die Sonne zu entfernt sind.

Die Vermuthnng, daſs vielleicht andere Strahlen, zum Beispiel die, welche unter einem andern Winkel auffallend, den innern hohlen Raum durchdringen, und an der Rückseite zurückgeworfen werden, irgend einen lebhafter glänzenden Ring hervorbringen könnten, laſst sich auch nicht gebrauchen, da auch für sie kein Maximum statt findet, und daher der auf einmal eintretende Unterschied der Lichtstärke, wodurch der innere Rand des Ringes sich so deutlich von der umschlossenen innern Fläche verschieden zeigt, gar nicht erklärt werden kann.

So scheint also kein Mittel übrig zu bleiben, um die Höfe, welche die Sonne zu ihrem Mittelpuncte haben, aus den bläschenförmigen Dünsten zu erklären, und da Wasserkugeln eben so wenig zur Erklärung der mannigfaltigen Phänomene führen können, so sind wir genöthigt, wieder zu der Betrachtung der Eisnadeln zurück zu kehren.

In Beziehung auf diese hat schon Mariotte einen sehr glücklichen Gedanken gehabt, der nur deswegen weniger beachtet worden ist, weil Hugenius durch seine, mit so groſsem Scharfsinne durchgeführte Theorie, die in einigen auffallenden Rücksichten genau mit der Erfahrung übereinstimmte, die Meinungen der Physiker für sich gewann, und dagegen die weniger durchgeführte Theorie des Mariotte nicht so sorgfältig geprüft wurde, als sie verdiente. Mariotte bemerkte nämlich [1], daſs die sternförmigen Schneeflocken aus dreiseitigen, gleichseitigen Prismen zusammengesetzt wären; er betrachtete die beim Reife sich anhängenden Nadeln mit dem Mikroskope und fand

1 Traité des couleurs in d. Oeuvres I. 272. Cassini erklärte sich für diese Theorie Mém. de Paris X. 234.

Digitized by Google

an ihnen drei gleiche Facetten; er nahm daher an, daſs solche in der Luft schwebende Eisprismen das Phänomen der Höfe hervorbrächten, und fand mit Recht in dem Halbmesser dieser Höfe eine Bestätigung dieser Meinung, indem er zeigte, daſs es auch unter den verschiedenen Stellungen des gegen den Sonnenstrahl senkrechten Prisma's nur *eine* gebe, bei welcher die parallel einfallenden Strahlen auch wieder parallel ausfallen, oder wo die Zerstreuung derselben so wenig betrage, daſs diese Strahlen als wirksame Strahlen anzusehen sind. Da nun diese wirksamen Strahlen bei dem Durchgange durch ein Eisprisma oder Wasserprisma gerade so gebrochen werden, daſs sie mit dem ungebrochenen Sonnenstrahle einen Winkel von beinahe 23° machen, welches dem so oft beobachteten Halbmesser des ersten Ringes fast genau gleich ist, so schlieſst er sehr richtig, daſs man hierin eine Erklärung der Erscheinung dieses Ringes finde.

Eben diesen Gedanken, daſs die Brechung in dreiseitigen Eisnadeln die Höfe und Nebensonnen hervorbringe, hat Venturi vollständiger ausgeführt, und einen groſsen Theil der Erscheinungen daraus sehr glücklich erklärt[1]. Auf seine Theorie komme ich nachher zurück.

Fraunhofer hat[2], ohne, wie es scheint, Venturi's Arbeit zu kennen, ebenfalls den Gedanken, daſs Eisprismen diese Phänomene hervorbringen könnten, verfolgt und seine Anwendbarkeit gezeigt. Er bleibt aber nicht mit der Einfachheit und Gleichmäſsigkeit bei diesen Prismen stehen, wie Venturi, sondern, während er den ersten Ring oder Hof um die Sonne ganz so, wie Venturi erklärt, leitet er für den groſsen durch die Sonne gehenden Horizontalkreis die Erklärung aus der Beugung des Lichtes her. Wenn man, sagt er, eine Glastafel mit nicht zu weichem Fette so bestreicht, daſs man immer nach derselben Richtung streicht, so erhält man auf dem Glase ziemlich genau parallele, mit Fett bedeckte Linien, zwischen denen das Glas frei von Fett ist; diese Linien sind in ungleichen Entfernungen von einander und zeigen daher, beim Durchlassen des Lichtes die Phänomene, die sich bei Gittern deren Zwischen-

1 Commentarj sopra la storia e le teorie dell' ottica. Tom. I. Bologna. 1814.

2 Schumacher's astronom. Abh. 3 Hft. S. 73.

Digitized by Google

räume ungleich sind, darstellen. Die Farbenspectra, die man bei Gittern, welche aus parallelen gleich weit von einander entfernten Fäden bestehen, erhält, sind desto gröſser und desto weiter von dem leuchtenden Körper entfernt, je kleiner die Entfernung der Mitte je zweier der Fäden ist, woraus sie bestehen. Sind diese Entfernungen nun ungleich, so fallen die ungleichen Farben der verschiedenen Spectra auf einander, und man sieht, statt der Farbenfolge nur einen lichten Streif von weiſser Farbe. Diesen Streif sieht man daher auch, wenn man durch jenes mit Fettlinien überzogene Glas nach einem Lichte sieht, und zwar ist die Richtung des nach beiden Seiten gehenden Lichtstreifens horizontal, wenn jene Fettlinien die verticale Richtung haben. Fraunhofer sucht nun nachzuweisen, daſs die in der Luft schwebenden Körperchen, Eispartikeln zum Beispiel, ungefähr so erscheinen müssen, als lägen sie in verticalen Linien, und wenn das der Fall ist, so könnte also durch das von ihnen gleichsam dargestellte Gitter jener horizontale Lichtkreis erscheinen. Dieser Erklärung glaube ich meine Zustimmung nicht geben zu können; denn erstlich bleibt mir der Grund, warum sie für den horizontal zu uns kommenden Strahl ungefähr so liegen, als lägen sie in verticalen Linien, dunkel. Zweitens scheint eben diese Erklärung auch für den verticalen Lichtstreifen, den man zuweilen beobachtet, gelten zu sollen, aber Fraunhofer selbst scheint zuzugeben, wenn das Phänomen nach verticaler Richtung statt finde, könne es nicht zugleich in horizontaler Richtung bemerkt werden [1], und doch hat man nicht selten den verticalen Lichtstreifen mit dem horizontalen zugleich gesehen; drittens giebt die Venturi'sche Erklärung mit der Vervollständigung, die ich ihr hinzufügen werde, Aufschluſs auch über die andern durch die Sonne gehenden weiſsen Kreise. Die horizontal neben der Sonne in 22 Graden Entfernung stehenden Nebensonnen mit ihren Schweifen, erklärt Fraunhofer aus der Brechung in Eisprismen fast so wie Venturi.

Den zweiten Hof erklärt Fraunhofer mit Hülfe der Endspitzen, die man wohl mit Recht jenen Eisprismen beilegen muſs. Haben sich nämlich aus den dreiseitigen Prismen durch Zusammensetzung sechseckige gebildet, und endigen diese sich in sechsseitige Pyramiden, deren an der Spitze einander gegen

1 S. 81. unten.

über liegende Seitenflächen einen Winkel von 88 Graden mit einander bilden, so geben die durch solche zwei Seitenflächen eindringenden und ausfahrenden Lichtstrahlen einen Ring von 45 Graden Halbmesser. Wegen der Kleinheit der Flächen dieser Pyramiden ist dieser zweite Ring schwächer als der erste, und das um so mehr, da auch bei gröſserem Brechungswinkel die Intensität des Lichtes geringer ist. Diese Betrachtung, die aus dem Folgenden noch deutlicher wird, ist ganz richtig, indeſs scheinen doch in den dreiseitigen Prismen selbst noch Strahlen hervorzugehen, die zur Bildung dieses Ringes mitwirken.

Wie Fraunhofer sich die Entstehung der Berührungskreise erklärt, will ich später da anführen, wo ich von diesen reden werde, weil allerdings einige Verstärkung derselben wohl auf diese Weise hervorgehen kann, obgleich es mir nicht scheint, daſs allein aus dem, was Fraunhofer angiebt, ein so lebhafter Farbenbogen entstehen könnte.

## Erklärung der Erscheinungen.

Da die ganze folgende Theorie dieser Phänomene auf der Voraussetzung beruht, daſs zu der Zeit, wo man sie beobachtet, prismatische Eisnadeln in der Luft schweben, so muſs ich bei der Frage nach der Wahrscheinlichkeit dieser Behauptung etwas länger verweilen.

Man hat schon seit alter Zeit die Bemerkung gemacht, daſs diese Phänomene sich im Winter und in kalten Gegenden am häufigsten zeigen, und hierin einen Grund gefunden, sie den in der Luft schwebenden Eistheilchen zuzuschreiben. Diese Eistheilchen sind im Winter selbst bei heiterm Himmel vorhanden, und Venturi führt aus Marten's Reise[1] an, daſs zuweilen ein Reif in Form kleiner Schneenadeln ins Meer fiel, und daſs man diese am besten dann gewahr wurde, wenn die Sonnenstrahlen neben einem schattigen Orte vorbeigingen, indem diese Eispartikeln dann, wie Brillanten glänzend, sich deutlich wahrnehmen lieſsen, so wie wir ja auch die Sonnenstäubchen zuweilen das Licht lebhaft reflectiren sehen. Ich selbst habe solche Schneenadeln zuweilen bei heiterm Himmel in der Luft schweben gesehen, und ihr zurückgeworfenes Licht

1 Voyage au Nord. Vol. II.

Digitized by Google

wurde, da sie öfters mit einem sehr gelinden Luftzuge so fortzuziehen scheinen, daſs ihre Längendimension horizontal ist, dann am deutlichsten, wenn sie sich in dem Verticalkreise der Sonne befanden. In dieser Gegend sieht man sie freilich auch darum am bequemsten, weil man neben der verticalen Wand eines Hauses am besten das Auge in Schatten halten, und die unter der Sonne vorbeiziehenden, nur sehr wenig aus dem Verticalkreise der Sonne heraustretenden Schneenadeln beobachten kann. Zu solchen Zeiten sind diese Schneenadeln oft so sparsam vorhanden, daſs man die, welche dem Auge noch einzeln sichtbar bleiben, also in einem sehr begrenzten Gesichtskreise liegen, fast zählen zu können glaubt, aber dennoch kann der aus ihrer Zurückwerfung oder Brechung des Lichtes hervorgehende Glanz gar wohl uns helle Ringe u. s. w. zeigen, da in der langen Linie vom Auge bis zur Wolkenregion eine hinreichende Zahl dieser Krystalle vorhanden seyn kann.

Der wichtige Einwurf, daſs wir auch im Sommer Nebensonnen und Höfe um Sonne und Mond sehen, und daſs sich uns von jenen Eisnadeln dann doch gewiſs nichts zeigt, muſs wohl damit beantwortet werden, daſs in den ungemein hohen Gegenden, wo das Phänomen der Nebensonnen seinen Ursprung hat, wohl zu allen Jahreszeiten und vielleicht in allen Klimaten sich so feine Eisnadeln erzeugen können, und daſs diese im Herabfallen nicht allein längst aufgethaut, sondern sogar auch verdunstet seyn werden, ehe sie noch die tiefern Gegenden der Atmosphäre erreichen.

Wie sehr häufig diese Erscheinungen in den nördlichen Gegenden sind, zeigen Aepinus Beobachtungen, der 1758 in fünf Monaten sechs und zwanzig Erscheinungen von Höfen aufgezeichnet, und auſserdem noch einige gesehen hatte, die ihm minder merkwürdig schienen[1], und ebenso Braun's Beobachtungen in Sibirien[2], wo die Nebensonnen sehr oft vorkommen. Wales erzählt sogar, daſs er an der Hudsonsbay die Nebensonnen fast täglich mit der Sonne aufgehen, und sie den ganzen Tag begleiten sah. Die oberhalb der Sonne liegenden Theile des Ringes um die Sonne wurden schon vor Sonnenaufgang sichtbar, und man sah zuerst, etwa 20 Grade von der Stelle,

1 Nov. Comment. Petrop. VIII. 392.

2 Nov. Comment. Petrop. VI. 438. und X. 375.

Digitized by Google

wo die Sonne aufgehen sollte, sich lichte Streifen über den Horizont erheben, die, wenn die Sonne die dem Zenith nähern Theile derjenigen Schicht, wo das Phänomen entstand, zu beleuchten anfing, sich oben immer mehr zu einem vollen Halbkreise rundeten. Bei Sonnenaufgang war der halbe Hof vollständig und die zwei in ihm stehenden Nebensonnen gingen zugleich mit der Sonne auf und begleiteten sie den ganzen Tag[1].

Dieses alles spricht für die Mitwirkung der Eispartikeln, und es entstände nun die Frage, welche Gestalt wir ihnen beilegen dürfen. Daſs sie wie feine Nadeln erscheinen, habe ich schon erwähnt, und es ist ja auch bekannt, daſs der Schnee sich aus solchen Nadeln zusammensetzt. Diese Nadeln haben höchst wahrscheinlich in ihrer einfachsten Bildung die Gestalt eines gleichseitig dreiseitigen oder gleichseitig sechseckigen Prisma's, und gewiſs ist, daſs wenn sich diese Schneekrystalle an einander setzen, als vereinigte Schneekrystalle ein Ganzes bilden, dieses immer unter Winkeln von 60 Graden geschieht, woraus ja die mannigfaltigen, aber durchaus diese sechseckige Form darstellenden Schneesternchen entstehen. Man könnte also nun theoretisch die Frage verfolgen, welche optische Erscheinungen müssen sich uns in solchen Eiskrystallen, die vermuthlich pyramidalisch zugespitzt sind, zeigen? — Doch wir wollen uns hier lieber an die Erscheinung der Höfe halten, und zu jedem einzelnen Stücke des Phänomens die Erklärung suchen.

## 1. Die durch die Sonne gehenden weiſsen Kreise.

Unter den bei diesen Phänomenen sich zeigenden, durch die Sonne gehenden Kreisen will ich den zuerst betrachten, welcher in verticaler Richtung durch die Sonne geht. Man sieht zuweilen, ohne daſs sich andere Ringe, Kreise oder Nebensonnen zeigen, am häufigsten bei aufgehender oder untergehender Sonne einen verticalen Lichtstreifen, der, wenn die Sonne sehr niedrig steht, die Feuerfarbe des Abendrothes zeigt, bei höherm Stande der Sonne aber weiſs ist. Dieser erstreckt sich von der Sonne hinaufwärts und hinabwärts, zuweilen bis zu 40 oder 50 Graden Entfernung[2].

---

1 Phil. Transact. 1770. p. 129.

2 Einige solche Beobachtungen sind an folgenden Orten zu fin-

Digitized by Google

Diese Erscheinung muſs wohl ganz der Hugenischen Ansicht gemäſs erklärt werden[1]; indem es dabei auf die Gestalt der Eisnadeln, ob sie prismatisch oder cylindrisch sind, nicht ankommt. Schweben nämlich Eisprismen so in der Luft, daſs ihre Kanten horizontal und senkrecht gegen die Vertical-Ebenen sind, worin die Sonne sich befindet, so werden diese bei einer richtigen Neigung ihrer Seitenfläche uns ein Sonnenbild durch Spiegelung zeigen. Steht die Sonne im Horizonte und liegen die Kanten des Prisma's senkrecht gegen diesen Verticalkreis, so müssen die, welche uns ein Sonnenbild nahe über der wahren Sonne zeigen sollen, ihre untere Fläche nur wenig gegen den Horizont neigen, diejenigen aber, welche dem Beobachter 60 Grade über dem Horizonte stehen, müssen eine Neigung ihrer untern Fläche = 30 Gr. haben, diejenigen endlich, welche ihm im Zenith stehen, müssen diese Ebene 45 Gr. gegen den Horizont geneigt haben, um ihm ein Sonnenbild zuzuwerfen. Stellen wir uns also vor, es würden durch einen leisen Luftzug, senkrecht gegen die Vertical-Ebenen durch die Sonne, viele Schneenadeln so fortgeführt, so würden gewiſs in jeder vom Auge des Beobachters aus gezogenen scheinbaren Richtungslinie sich sehr viele finden, welche die richtige Lage, um dem Beobachter einen Sonnenstrahl zuzwerfen, hätten, und da die übrigen alle, wenn sie gleich unwirksam in dieser Hinsicht sind, doch auch die Wirkung jener nicht hindern, so wird dem Beobachter von allen Puncten dieses Vertikalkreises ein reflectirtes Sonnenlicht zugeworfen, und er sieht den ganzen Verticalkreis leuchtend, oder wenigstens die Theile desselben, wo sich solche Schneenadeln finden. Wenn in Richtungen, die von dieser Vertical-Ebene abwärts liegen, sich Prismen befinden, so können auch sie dem Beobachter reflectirtes Sonnenlicht zuwerfen, wenn das Auge sich in der durch die Sonne auf die Spiegelungsfläche senkrechten Ebene da befindet, wo der Reflexionswinkel dem Einfallswinkel gleich ist. Wäre also die Atmosphäre mit horizontalen, nach allen Seiten gerichteten Prismen erfüllt, oder

---

den: Mém. de Paris. X. 90. Hevel in Phil. Tr. 1674. IX. 26; Derham in Ph. Tr. 1707. XXV. 2411. Acta erudit. 1690. 65. und 1714. 427. Rothmann, den Hugen. in opp. posth. 341 anführt. Swinton. Ph. Tr. 1737. 94. Messier Mém. de Paris. 1771. 434. G. III. 361.

2 Hugen. p. 340.

auch mit Prismen, die alle mögliche Richtungen hätten, so wäre wohl kein Grund, warum jener Verticalkreis vorglänzend, sich auszeichnen sollte. Es scheint also nöthig anzunehmen, daſs zu der Zeit, da der verticale Lichtstreif erscheint, wenigstens in *einer* Gegend der Atmosphäre eine vorzüglich groſse Anzahl solcher, gerade mit den Kanten gegen den Sonnenstrahl senkrechter Prismen vorhanden sey. Daſs man bei niedrig stehender Sonne diese Lichtstreifen am besten sieht, kommt offenbar von dem langen Wege, den der Lichtstrahl dann in der Atmosphäre macht, wo er also mehr solche Spiegel antrifft. Diese Lichtsäule ist in der Nähe der Sonne am lebhaftesten, welches wohl daraus zu erklären ist, daſs das unter einem kleinen Winkal auffallende Licht gröſstentheils zurückgeworfen, dagegen das mehr senkrecht auffallende in gröſserer Menge durchgelassen wird; dazu kommt noch, daſs selbst etwas von der eigentlichen Richtung abweichende Prismen, nahe bei der Sonne, das Licht des Kreises verstärken.

Gilbert's Beobachtung, wo zugleich ein gegen die Vertical-Ebene geneigter Lichtstreif erschien[1], möchte wohl eher dem Phänomen des *Wasserziehens der Sonne*, wie man es gewöhnlich nennt, zugehören; denn da sich dabei am Horizonte Wolken zeigten, so konnte wohl die Beschattung der Dünste und die Erleuchtung einiger derselben da, wo gerade Oeffnungen in der Wolke vorhanden waren, das Phänomen hervorbringen.

Man hat es zuweilen als merkwürdig angeführt, daſs eben die Erscheinung sich an mehreren Orten zugleich, in bedeutenden Entfernungen von einander gezeigt hat. Dieses ist in meteorologischer Hinsicht einigermaſsen merkwürdig, weil es zeigt, daſs dieselbe Beschaffenheit der Luft sich so weit erstreckte, in optischer Beziehung ist nichts Merkwürdiges dabei[2].

---

1 G. III. 361.

2 Daſs noch in unsern Tagen einmal die Sichtbarkeit dieses Phänomens an zwei entfernten Orten als Beweis für die ungemein groſse Entfernung desselben angeführt worden ist, verdient nur als Beweis, wohin man gelangen würde, wenn man die mathematische Naturforschung verlieſse, erwähnt zu werden. Die von Kämtz ausgeführte Widerlegung dieses Irrthums (Schweigg. Jahrb. XLV. 193.) stellt den

Digitized by Google

Diese, oft ohne alle weitere helle Kreise[1] vorkommenden Lichtstreifen, sind zuweilen auch mit dem horizontalen Kreise, den ich sogleich näher betrachten werde, zugleich da. Dann bilden sie entweder ein Kreuz, in dessen Mitte die Sonne oder der Mond steht, oder es zeigt sich ein solches Kreuz der Sonne gerade gegenüber[2].

Dieser Kreis ist bei den vollständigern Erscheinungen von Nebensonnen seltener vorhanden, als der zweite durch die Sonne gehende Kreis, der dagegen nie allein, sondern immer mit ein oder zwei Nebensonnen in Verbindung, gewöhnlich auch noch mit mehreren Kreisen, zugleich vorzukommen pflegt. Dieser Horizontalkreis ist allemal weiſs, farbenlos, hat die Breite, die dem Sonnendurchmesser gleich ist und ist in der Regel so genau, daſs man wenigstens keine Abweichung bemerkt, horizontal. Bei einigen Beobachtungen scheint er wenig von der horizontalen Lage abweichend zu zeyn[3]. Flaugergues sah in Viviers[4] am 9ten Mai 1796 um 11 Uhr, als die Sonne etwa 60 Grade hoch stand, einen durch die Sonne gehenden Kreis nur etwa von dem Halbmesser des innern Ringes; dieses Kreises Mittelpunct muſste, wenn die Angabe genau ist, 4 oder 5 Grade vom Zenith entfernt seyn. Noch weiter vom Zenith ent-

---

Gegenstand gründlich dar und giebt zugleich Nachricht von andern ähnlichen Erscheinungen. Es ist klar, daſs hier nicht zwei Beobachter nach demselben Puncte im Raume hinsehen, wenn sie dieses Phänomen beobachten, sondern daſs das Bemühen, aus zwei correspondirenden Beobachtungen die wahre Entfernung dieses Phänomens bestimmen zu wollen, ein so ganz verfehltes Unternehmen ist. Wenn zwei Beobachter des Regenbogens, der ihnen diesseits naher Häuser und Bäume erscheint, aus der correspondirenden Beobachtung der Richtung seine Entfernung bestimmen wollten, so fänden sie ihn so entfernt, als die Sonne selbst.

1 Zuweilen mit Nebensonnen ganz nahe an der Sonne, die nicht in unsere jetzige Betrachtung gehören, s. Art. *Nebensonne*.

2 Ein oft beobachtetes Phänomen, wovon Beispiele an folgenden Orten vorkommen: Hevel und Rothmann bei Hugen. p. 839. Braun Nov. Comm. Petrop. VI. 438. Fouchy Mém. de Paris. 1735. 585. Hansteen's magaz. 1826. S. 179. Acta Erud. 1714. 427. Mém. de Paris. X. 583. G. XVIII. 104.

3 Phil. Tr. I. 219. und XL. 1737. 54.

4 Mém. de l' Inst. I. 107.

fernt lag der Mittelpunct des durch den Mond gehenden Kreises bei Hall's Beobachtung[1]. Der Mond stand 54 Grade hoch, der gegenüber liegende Punct dieses Kreises nur 14 Grade, so daſs der Mittelpunct dieses Kreises 20 Grade vom Zenith entfernt seyn muſste. Dieser Horizontalkreis, denn so werde ich ihn, der seltnen Abweichungen ungeachtet, nennen, entsteht wohl ohne Zweifel, wie schon Hugenius annahm, durch Spiegelung an vertical schwebenden Schneenadeln. Stellen wir uns nämlich verticale Spiegel um uns herum in allerlei Stellungen vor, so sehen wir Sonnenbilder nur in denen, die mit unserer Ge-
Fig. 107. sichtslinie O A eben den Winkel, wie mit dem Sonnenstrahle S A machen, $CAO = bAS$, oder in denen, für welche $bAS = \frac{1}{2} S'OA$ ist, wenn S′O, parallel mit S A, nach der Sonne zu geht. Schwebt also ein groſser Theil der prismatischen Eisnadeln vertical, so werden sich unter ihnen in der Richtungslinie O A immer sehr viele finden, die diese Stellung haben; und da die übrigen, von dieser Stellung abweichenden, wenn sie nämlich vertical sind, gar kein durch regelmäſsige Spiegelung zurückgeworfenes Licht in das Auge senden, so zeichnet der Glanz jener sich merklich aus. Das Bild, welches jeder dieser Verticalspiegel uns darstellt, liegt mit der Sonne gleich hoch über dem Horizonte, denn da das Einfallsloth auf einen Verticalspiegel b c, die Horizontallinie D A ist, und das Bild hinter dem Spiegel auf einer durch den leuchtenden Punct, dem Einfallslothe parallel gezogenen Linie eben so weit hinter dem Spiegel liegt als der leuchtende Punct vor demselben, so erhellet leicht, daſs das nach diesem Bilde sehende Auge seinen Blick nach einer Richtung, ebenso geneigt als die Richtungslinie nach der Sonne, wenden muſs. Da dieses für alle jene spiegelnden Nadeln gilt, so sieht man einen mit dem Horizonte parallelen hellen Kreis, der an manchen Stellen unterbrochen seyn kann, wenn sich gerade dort wenige oder gar keine verticalen Eisnadeln befinden.

Damit dieser Kreis vorglänzend sich zeige, muſs es der verticalen Nadeln bedeutend viel mehrere geben, als der in andern Richtungen schwebenden; denn gäbe es ebenso viele, die 1 Grad gegen die Verticallinie geneigt, unter einander parallel, (zum Beispiel alle von Norden nach Süden geneigt) schwebten, so würde sich ein gleichfalls durch die Sonne gehender Kreis,

1 Edinb. Ph. Tr. IV. 173 und G. III. 357.

der aber die Neigung von 1 Gr. gegen den Horizont hätte, zeigen, und da auf dieſe Weiſe ſich ein weiſser Kreis an den andern reihen, und ihre ganze Folge den Himmel bedecken würde, ſo könnte keiner vorglänzend ſeyn, ſondern der ganze Himmel würde nur einen weiſsen Schimmer zurückwerfen, wenn nicht Nadeln in *einer* beſtimmten Richtung in ſehr vorherrſchender Menge da wären. Hätten dieſe Nadeln nicht die verticale Richtung, ſondern eine andere, ſo könnten die geneigten Kreiſe entſtehen, die Flaugergues und Hall geſehen haben. Daſs aber in der Regel die verticalen Nadeln am zahlreichſten vorhanden ſind, läſst ſich aus dem Beſtreben der Nadeln, ſo, wie es der kleinſte Widerſtand fordert, herabzufallen, wohl erklären. Zu bemerken iſt indeſs wohl auch, daſs für die beinahe in der Richtung gegen die Sonne zu erſcheinenden Nadeln eine kleine Abweichuug von der verticalen Stellung wenig ſchadet; denn da alle dieſe durch Spiegelung entſtehenden Kreiſe durch die Sonne gehen würden, und die Breite des Sonnen-Durchmeſsers hätten, ſo würde bei dem ſcheinbaren Abſtande $= \varphi$ von der Sonne, und einer Abweichung des Kreiſes $= \alpha$ vom Horizontalkreiſe, doch noch ein Sonnenbild des untern Sonnenrandes mit dem Bilde des obern Randes im Horizontalkreiſe zuſammenfallen, ſo lange die Kreiſe ſich nicht um mehr als $\frac{1}{2}$ Grad von einander entfernen. Dieſes würde in 30 Grade Entfernung von der Sonne, wenn die Sonne im Horizonte ſteht, $\alpha = 1$ Grad; wenn ſie 30 Grade hoch ſteht, $\alpha = 10^0$; wenn ſie 45 Grade hoch ſteht, $\alpha = 16\frac{1}{2}$ Grad geben, und das Erſcheinen des weiſsen Ringes wird daher immer wahrſcheinlicher, je höher die Sonne ſteigt, da dann auch die nicht genau verticalen Nadeln ihn verſtärken helfen.

Das gleichzeitige Erſcheinen des verticalen und horizontalen Kreiſes bietet einige Schwierigkeit in der Erklärung dar, indem man doch das Herabfallen der Nadeln in verticaler Stellung wohl einer ganz ruhigen Luft zuſchreiben muſs, ſtatt daſs die horizontale Richtung der Nadeln einen leiſen Luftzug zu fordern ſcheint. Vielleicht kann in einer niedrigen Luftſchicht das eine, in einer höhern Luftſchicht das andere ſtatt finden.

Zu dieſen durch die Sonne gehenden Kreiſen gehören ferner die Kreiſe hla, hma. So viel ich weiſs, hat man noch Fig. 103. keine Erklärung ihrer Entſtehung, die mir gleichwohl ſehr nahe zu liegen ſcheint. Bekanntlich fügen ſich jene Eisnadeln nie

anders, als unter dem Winkel von 60 Graden, an einander, und nicht allein die gröſseren Krystalle, die wir in den Schneesternen vereinigt sehen, machen diese Winkel mit einander, sondern auch die feinen Nadeln, die an jedem gröſseren Krystalle sich anhängen, machen mit diesem eben jenen Winkel. Sind also sehr viele verticale Eisnadeln in der Luft, so können mit ihnen viele unter 60 Graden Abweichung von der Verticallinie verbunden seyn. So wie wir nun für die auf den Horizont senkrechten Nadeln einen Horizontalkreis durch die Sonne erhielten, so würden wir für alle Schneenadeln, die gegen einen 60 Grade vom Zenith ab liegenden Punct, der zugleich um 90 Grade im Azimuth von der Sonne absteht, gerichtet sind, einen Kreis, durch die Sonne gehend, senkrecht auf diese Richtung, durch die Spiegelung der Sonne in diesen Prismen sehen müssen. Stände zum Beispiel die Sonne in Süden, so würde ein in 30 Graden Höhe in Osten, und ebenso ein 30 Grade hoch in Westen liegender Punct der Mittelpunct des einen und des andern der beiden durch die Sonne gehenden Kreise seyn. Dieses erhellt wohl sehr leicht, aber eine Schwierigkeit scheint mir übrig zu bleiben, nämlich daſs jene unter 30 Graden gegen den Horizont geneigten Nadeln doch wohl in allen Azimuthalrichtungen vorhanden seyn könnten, und daſs diese, wenn man die unter sich parallel nach einem andern Puncte des Himmels gerichteten zusammen als allein vorhanden betrachtete, andere Kreise durch die Sonne, deren Pol 30 Grade hoch läge, hervorbrächten. Wenn also jene durch die Lage der erwähnten Kreise angedeutete Erklärung die richtige ist, so müſsten besondere Umstände statt finden, welche das Erscheinen gerade dieser Kreise, das ist die genaue, gerade so bestimmte Azimuthallage der unter 60 Graden geneigten Prismen begünstigen.

Indeſs dieser Einwurf trifft auch die Erklärung der zu andern Zeiten und nicht selten gesehenen Verticalkreise durch die Sonne. Wenn die Sonne genau in Osten steht, und alle Schneenadeln sind horizontal nach Norden und Süden gerichtet, so sieht man einen hellen Verticalkreis durch die Sonne; wären sie aber alle nach Südost gerichtet, so müſste man eben so gut einen Halbkreis sehen, der durch die Sonne gehend seinen Mittelpunct in Süd-Ost des Horizontes hätte; und wären sie alle nach Osten gerichtet, so müſste man einen Halbkreis sehen, der seinen Mittelpunct gerade in dem unter der Sonne liegen-

den Puncte des Horizontes hätte. Solche Kreise sieht man niemals oder wenigtens ganz gewiſs höchst selten. Aber liegt nicht vielleicht hierin auch der Grund, warum man selten anders als bei Aufgang oder Untergang der Sonne jenen verticalen Streifen sieht? Man zeichne auf eine Kugel einen gröſsten Kreis, der den Horizont vorstellt, und nehme in ihm einen Punct an, der die im Horizonte stehende Sonne bedeutet. Zeichnet man nun durch diese Sonne Kreise, deren Mittelpuncte in verschiedenen Puncten des Horizontes liegen, so berühren diese sich einander und die Bogen Sa, Sb, Sc, können ihre Mittelpuncte schon Fig. 103. ziemlich weit von einander entfernt haben, ehe die Bogen Sa, Sb, selbst in bedeutender Entfernung von der Sonne, erheblich weit auseinander laufen. Steht dagegen die Sonne S hoch über dem Horizonte, so sind jene Bogen nicht mehr sich berührende Bogen, sondern sie schneiden einander, und tragen keineswegs so zur Verstärkung des durch die Sonne gehenden Verticalkreises bei.

Nach der Analogie müſsten wir also schlieſsen, daſs jene Kreise, welche von den unter 30 Gr. Neigung gegen den Horizont an die verticalen Nadeln befestigten Prismen hervorgebracht werden, sich bei 30 Grad Sonnenhöhe am besten zeigen müſsten, indem da die bei etwas abweichender Azimuthalrichtung entstehenden Kreise sich in der Nähe der Sonne berühren. Die Bildung vollständiger bis zu dem entgegengesetzten Puncte des Horizontalkreises fertlaufender Bogen setzt indeſs immer eine bedeutende Ueberzahl solcher Prismen, deren Kanten im Azimuth 90 Grade von der Sonne liegen, voraus.

Ob es nun genügend sey, so zu erklären, ob man die Seltenheit des Phänomens, als entsprechend der Schwierigkeit dieses seltenen Zusammentreffens von Umständen, ansehen dürfe, ob es wahrscheinlich sey, daſs diese Umstände, wie bei dem von Lowitz beobachteten Phänomene, längere Zeit, selbst bei merklich verändertem Stande dsr Sonne, fortdauern, das wage ich nicht zu behaupten.

Die wenigen Beobachtungen, die solche Bogen angeben, sind folgende. Eine Beobachtung von Baxter[1] am Lacus Superior, am 22. Jan. 2 Uhr, als die Sonne kaum 20 Grade hoch stehen konnte, giebt zwei helle Bogen an, die sich einander

1 Ph. Tr. 1787. p. 44.

Digitized by Google

und zugleich den Horizontalkreis, der Sonne gerade gegenüber, durchschnitten und ein Andreaskreuz bildeten. Die Zeichnung ist so, daſs man ihnen 60 Grad Neigung gegen den Horizont beilegen darf[1]. Bei der Beobachtung von Lowitz in Petersburg, am 18. Juni 10 Uhr Vormittags, als die Sonne gegen 45 Grad hoch stand, und selbst noch später als sie höher stieg, zeigten sich diese Bogen, deren genaue Abmessung Lowitz nicht angiebt; er sagt nur, daſs auch beim Höhersteigen der Sonne der Durchschnittspunct auf dem Horizontalkreise der Sonne gerade gegenüber blieb.

Mit den Nebensonnen, welche von Hoff am 12. Mai 1824 beobachtete[2], als die Sonne 25 Grade hoch stand, zeigte sich zugleich eine, der wahren Sonne gegenüber stehende, in welcher zwei weiſse Bogen sich durchschnitten, die von Hoff als rechte Winkel mit einander bildend, Kries als sich berührend zeichnete.

Bei Lea's Beobachtung[3] sind diese Kreise so gezeichnet, als ob man sie ganz gesehen hätte. Da ich die genauen Umstände der Beobachtung nicht angegeben finde, so kann ich nicht entscheiden, ob der Zeichner vielleicht über die Grenzen der Beobachtung hinausgegangen ist. Sollten sie ganz über dem Horizonte erscheinen, so muſste ihr Centrum etwa so hoch als die Sonne selbst liegen, die damals fast 60 Grade hoch gestanden zu haben scheint. Vorzüglich gut scheinen diese beiden Kreise sich bei dem von Schult am 27. März[4] 1826 in Kongsberg beobachteten Phänomene gezeigt zu haben. Die Sonne hatte ungefähr die Höhe von 30 Graden. Hansteen sah nur etwas Weniges von diesen Bogen der Sonne gegenüber. Die von Hevelius[5] um 6 Uhr Abends am 6. Sept. 1661 beobachteten, sich ebenso schneidenden, Bogen, die der untergehenden Sonne gegenüber standen, führe ich zuletzt an, weil Hevel sie irides nennt, und ich daher den Zweifel anführen muſs, ob

1 Bei einer Beobachtung von Weidler wird von diesen Bogen ausdrücklich gesagt, daſs sie Winkel von 60 Gr. mit einander machten. Ph. Tr. 1739. XLI. 221.

2 De Zach. Corr. astr. X. 536.

3 Poggendorf, VII. 529.

4 Hansteen Magaz. 1826. I. 154.

5 Mercur. in Sole visus; in appendice.

sie farbig waren, welches zu meiner Erklärung nicht passen würde.

Künftige Beobachtungen werden, wenn man genaue Ausmessungen dieser Kreise versucht, leicht entscheiden, ob ihr Pol 30 Grade hoch, und in einem Azimuthalabstande = 90 Grade von der Sonne liegt; findet sich das bestätigt, so glaube ich, kann man sicher jenen unter 60 Grad gegen die Verticalnadeln geneigten Nadeln die Entstehung des Phänomens zuschreiben, und müſste einen Grund aufsuchen, warum die Schneesternchen die Stellung, daſs die durch alle Spitzen gehende Ebene senkrecht gegen die Sonne ist, vorzugsweise annehmen.

## 2. Die Höfe um die Sonne oder den Mond, deren Mittelpuncte diese leuchtenden Körper sind.

Wenn wir annehmen, daſs die Atmosphäre mit gleichseitigen Eisprismen angefüllt sey, so könnten wir nach den verschiedenen Lagen, die diese Prismen haben müſsten, um dem Auge vorzüglich merkwürdige Erscheinungen darzubieten, fragen.

Wir wollen zuerst diejenigen Prismen betrachten, deren Kanten senkrecht gegen die durch die Sonne, das Auge, und den Einfallspunct des Lichtstrahles auf das Prisma gelegte Ebene sind. In diesen bleibt der Strahl bei der Brechung in der Ebene A′B′C′ des gleichseitigen Dreiecks, und gelangt nach der zweiten Brechung zum Auge. Es sey Sap = $\varphi$ der Winkel Fig. 109. des Lichtstrahls mit dem Einfallslothe, so ist beim Eise für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit das Brechungsverhältniſs = 1,31, also

$$\text{Cos. } C'ab = \frac{1}{1{,}31} \text{ Sin. } \varphi;$$
$$C'ba = 120^\circ - C'ab,$$
$$\text{Cos. } ObB' = 1{,}31 \text{ Cos. } C'ba,$$

und Ob macht mit aS einen Winkel = C′ab — SaA′ + C′ba — ObB′. Die genaue Untersuchung der Brechung im Prisma zeigt, daſs dieser Winkel ein kleinster wird, wenn C′ab ein gleichschenkliches, hier also zugleich gleichseitiges Dreieck ist, also wenn C′ab = C′ba = 60°, und hier

Digitized by Google

$$\text{Cos. } SaA' = \text{Cos. } ObB' = 1{,}31 \cdot \text{Cos. } 60° = 0{,}655$$

also $SaA' = 49° \ 4' \ 50''$. Dann ist das Bild um $2 (C'ab - SaA') = 2 \cdot (10° \ 55' \ 10'') = 21° \ 50' \ 20''$ von dem leuchtenden Puncte entfernt.

Diejenige Lage des Prisma's, wobei dieses Minimum statt findet, hat darum etwas ausgezeichnetes, weil das Auge in O nicht bloſs von dem Prisma, welches genau diese Stellung hat, sondern auch von Prismen, die nicht ganz strenge diese Stellung haben, den Lichtstrahl empfängt. In andern Fällen reicht eine sehr kleine Drehung des Prisma's A' B' C' hin, um den Lichtstrahl, der auf O fiel, weit von O zu entfernen, aber bei dieser Stellung kann diese Drehung mehrere Grade betragen, ehe die Ablenkung von O erheblich wird, und ein Auge in O wird also nach dieser Richtung aus Puncten, welche 21° 50′ von der Sonne ab liegen, weit mehr Licht durch Brechung in diesen Prismen erhalten, als von andern weiter von der Sonne ab liegenden Puncten, weil die auf O b liegenden Prismen dem Auge selbst bei etwas ungleicher Lage den Lichtstrahl zusenden. Von Puncten, welche der Sonne näher liegen, kommt gar kein Lichtstrahl, durch Brechung in den Prismen, zum Auge.

Wenn man für rothe Strahlen das Brechungsverhältniſs, wie 1 zu 1.306 setzt, so wird jener Abstand 21° 32′, und die rothen Strahlen geben daher ein der Sonne näheres Bild.

Diese Resultate stimmen so genau mit der Erscheinung, welche der innere Hof um die Sonne darbietet, überein, daſs man wohl nicht zweifeln darf, dieser Ring stelle sich uns vermöge dieses Minimum's der Brechung in gleichseitigen Eisprismen dar[1]. Der innere Raum, welchen dieser erste Hof umschlieſst, ist dunkler, weil aus den so nahe bei der Sonne liegenden Prismen gar kein Licht durch Brechung in das Auge kommt. Der innere Rand des Hofes tritt schärfer abgeschnitten hervor, weil eben hier die Grenze der zum Auge gelangenden Lichtstrahlen liegt, statt daſs der äuſsere Rand mehr verwaschen ist, indem aus entfernteren Puncten zwar nicht so zahlreiche, aber doch noch immer viele Lichtstrahlen zum Auge

1 Wollaston hat ähnliche Ringe durch einen Versuch, der doch nur unvollkommen gelingt, darzustellen gesucht, indem er durch eine dünne auf einem Glase ausgebreitete Schicht krystallisirten Alauns nach einem Lichte sah.

Digitized by Google

gelangen. Das Roth liegt an der innern Seite des Ringes und tritt am deutlichsten hervor, die übrigen Farben sind weiſslich und gemischt, weil da, wo der grüne oder blaue Ring erscheinen sollte, auch andere Farbenstrahlen zum Auge hin gebrochen werden.

Der Halbmesser dieses innern Hofes ist oft abgemessen, und allezeit ungefähr 22 Grade gefunden worden. Die meisten dieser Angaben sind indeſs nur oberflächlich, und man bleibt ungewiſs, ob die Ungleichheiten, welche sie darbieten, in der Natur vorhanden waren. Einige genauere Messungen geben Whiston und Musschenbroek[1] an, die ihn $23\frac{1}{4}°$; 23° 12′; 23°; 22° 30′; fanden. Usher fand den Halbmesser mit dem Spiegelsextanten = 22° 24′[2]. Cassini 22° 15′[3]. v. Humboldt giebt eine Messung an, wo der Durchmesser 42° 3′ als der Mond $11\frac{1}{2}$ Grad hoch stand und 44° 10′, als der Mond eine Höhe von $37\frac{1}{2}$ Gr. erreicht hatte, betrug. Dagegen hat Musschenbroek einmal den Halbmesser bei steigender Sonne bis auf $18\frac{1}{2}$ abnehmen gesehen. Zwei von mir selbst angestellte Beobachtungen sind folgende: Am 26 Apr. 1828 stand Abends 9 Uhr der Stern $\vartheta$ des Löwen nicht über $\frac{1}{4}$ Gr. vom innern Rande des Ringes um den Mond entfernt; daraus folgt der innere Halbmesser 21° 17′. Um $9\frac{1}{4}$ Uhr stand eben der Stern fast genau im innern Rande des Ringes und Vindemiatrix $\frac{1}{4}$ Gr. oder wenig über $\frac{1}{4}$ Gr. innerhalb des inneren Randes. Die erste Angabe bestimmt des Rings innern Halbmesser = 21° 8′, die zweite 20° 57′ oder ein wenig darüber. Also könnte 21° 10′ als Mittelwerth gelten, oder vielleicht 21° 15′. Da der Stern neben dem hellen Lichte des Ringes schon unkenntlich werden konnte, wenn er auch noch nicht ganz den Ring erreichte. Diese Zahl trifft mit der vorhin berechneten Grenze des rothen Ringes sehr nahe zusammen, und wenn die rothen Strahlen etwas weniger gebrochen würden, so daſs man 1,3022 statt 1,306 setzen dürfte[4], so wäre die Uebereinstimmung vollkommen genau[5].

---

1 Phil. Tr. XXXI. 212. Mém. de Paris 1735. 87.

2 Transact. of the Irish Acad. 1789. 143.

3 Mém. de Paris X. 533.

4 Nach Brewster ist man hiezu wohl berechtigt, da er die mittlere Brechung 1,307 setzt. On new phil. Instrum. p. 288.

5 Bei Wasserprismen, wenn es dergl. geben könnte, würde der Halbmesser 23° 50′ seyn.

Digitized by Google

Die etwas gröſsern Ringe könnten vielleicht dann entstehen, wenn die Prismen keine genau gegen den Sonnenstrahl senkrechte Lage haben; aber die starke Abnahme des Halbmessers, welche Musschenbroek beobachtet hat, läſst sich nicht erklären; denn Prismen, deren einer Winkel bis auf 50 Grade abgenommen hätte, anzunehmen, und vorauszusetzen, daſs dieser Winkel gerade der brechende Winkel wäre, würde zu gezwungen scheinen, obgleich sich in der Verbindung mehrerer Prismen zu einem Schneesterne und in dem Abthauen an den vorragenden äuſsern Spitzen, die hier allein wirksam seyn könnten, zur Noth ein Grund für diesen geänderten Winkel finden lieſse.

Obgleich also für sehr seltne Fälle noch einige Umstände unerklärt bleiben, so glaube ich doch, daſs man keine bessere Erklärung dieses Ringes verlangen kann, und dieser Theorie des Mariotte, Venturi und Fraunhofer seinen Beifall nicht versagen darf. Nach Arago's Versicherung erhält die Behauptung, daſs das Licht sowohl dieses ersten als des zweiten Hofes um die Sonne auf diese Weise zum Auge gelange, auch durch diejenige Prüfung, die er in Beziehung auf die Polarisirung anstellte, eine Bestätigung; es zeigte sich nämlich, daſs dieses Licht kein zurückgeworfenes, sondern gebrochenes sey[1].

Die Frage, ob es denn wahrscheinlich sey, daſs unter den vermuthlich in allen möglichen Lagen schwebenden Prismen sich eine hinreichende Zahl finden sollte, die den Strahl auf diese Weise zum Auge bringen, muſs ich noch beantworten. Unter denen, deren Kante senkrecht gegen die Richtung des Sonnenstrahls und gegen die nach dem Auge zu gehende Linie sind, kommen gewiſs, auch in der Linie O b alle verschiedenen Lagen vor; aber wenn der Einfallswinkel S a A′ der für mittlere Strahlen 49° 5′ betragen sollte, auch bis 41° abnimmt und bis 57 Gr. zunimmt, so wird dadurch der Halbmesser des Ringes nur um 30′ gröſser, und die bei so viel abweichender Stellung zum Auge gelangenden Strahlen tragen noch immer mit bei, um den Glanz des Ringes zu verstärken. Da nun unter den 120 verschiedenen Stellungen, die das Prisma, von Grad zu Grad um seine Axe gedreht, annehmen kann, 16 Stellungen sind, die noch zur Bildung des Ringes beitragen, so kann man unter allen auf O b liegenden Prismen, deren Kanten senkrecht auf O b a S

1 Bullet. univ. Mai 1825.

sind, ein Achtel als wirksam ansehen, statt daſs weiter von der Sonne eine viel kleinere Anzahl in jeder Gegend wirksam ist, um den allgemeinen weiſsen Schimmer des Himmels hervorzubringen. Wenn die Kanten nicht senkrecht auf den Sonnenstrahl sind, so geschieht die Brechung im gleichseitigen Prisma nicht mehr in einem gleichseitigen Dreiecke, und der gebrochene Strahl erhält eine etwas mehr von der Sonne abgelenkte Richtung, aber auch da kann die Abweichung von der senkrechten Richtung der Kanten 10 Grade betragen, ehe der Ring seinen Halbmesser um $\frac{1}{2}$ Grad vergröſsert, und man kann daher annehmen, daſs $\frac{1}{12}$ aller auf O b liegenden Nadeln, die empfangenen Strahlen gebrochen ins Auge senden, statt daſs in jeder andern Richtung viel weniger Prismen wirksam sind.

Der gröſsere Halbmesser der Ringe kann also statt finden, wenn viele Nadeln eine etwas abweichende Richtung haben, und es könnte vielleicht der Mühe werth seyn, bei den Messungen der Ringe theils darauf, ob sie von der Kreisform abweichen, theils auf die Richtung des Windes zu achten. Die Unterbrechung der Ringe kann daraus, daſs in einer Gegend weniger Eisnadeln vorhanden sind, entstehen [1].

Ich gehe nun zu einer zweiten Lage des Prisma's über, die uns eine Merkwürdigkeit darbietet. Gleichseitige dreieckige Eisprismen, die zwischen s O, als Richtung nach der Sonne und O b liegen (wo s O b = 22° ist), können durch Brechung gar keine Lichtstrahlen ins Auge senden; ist s O b > 22°, so kommen einige Lichtstrahlen ins Auge, aber endlich gelangen wir zu einem Abstande s O f von der Sonne, wo das Prisma, um den gebrochenen Strahl nach O zu senden, die Lage haben muſs, daſs entweder der einfallende Strahl S″e mit der Seite

1 Die Erscheinung dieser Ringe ist ungemein häufig und ist auch oft beschrieben; nur als Beispiele führe ich an: Musschenbroek Mém. de Paris 1735. p. 87. Aepinus nov. comm. Petrop. VIII. 392. Baxter Ph. Tr. 1787. 44. Sehr selten ist die Farbenfolge anders angegeben, z. B. von Brown Ph. Tr. 1669. IV. 953. und Weidler Ph. Tr. 1737. XL. 54, aber beide Beobachtungen sind undeutlich und unvollkommen beschrieben. Dagegen ist die richtige Farbenfolge auch von folgenden Beobachtern angegeben: Fouchy Mém. de Paris 1735. p. 585. Neve Ph. Tr. 1737. XL. 52. Folkes Ph. Tr. 1737. XL. 59. Maraldi Mém. de Paris 1721. p. 231. Lowitz nov. act. Petr. VIII. 384.

AC des Prisma's, oder der ausfallende Strahl fO mit der Seite cb des Prisma's einen sehr kleinen Winkel macht. Nimmt man den Winkel sOf noch etwas gröſser, so kann das Prisma keine Lage mehr erhalten, wobei ein gebrochener Strahl nach O gelangte. Es ist nämlich klar, daſs bei der Lage ACB des Prisma's $S''$e der letzte, diese Seitenfläche noch treffende Strahl ist, daſs bei einer kleinen Drehung des Prisma's diese Seite nicht mehr von Lichtstrahlen getroffen wird, und daſs bei der Lage abc des Prisma's, fO der letzte ausfallende Strahl ist, indem bei etwas veränderter Stellung der Strahl nicht mehr in die Luft hervordringen, sondern reflectirt werden würde.

Um die scheinbare Entfernung von der Sonne zu finden, wo dieser Fall eintritt, braucht man nur zu überlegen, daſs da, wo $bfO = 0$ ist $\text{Cos. } gfc = \frac{1}{1{,}31} = 0{,}7634$, also $gfc = 40^\circ\, 14'$; $fgc = 79^\circ\, 46'$, $\text{Cos. } S'ga = 1{,}31 .\ \text{Cos. } 79^\circ\, 46'$, also $S'ga = 76^\circ\, 32'$ wird; der Winkel also, den Of mit $gS'$ macht, ist $= 43^\circ\, 28'$, oder so weit von der Sonne liegen die Prismen, die für Strahlen von mittlerer Brechbarkeit $= 1{,}31$, diese Grenze geben. Wenn für rothe Strahlen der Coefficient $= 1{,}306$ ist, so wird der scheinbare Abstand von der Sonne $= 43^\circ\, 9'$, also liegt das Roth der Sonne näher. Für das Brechungsverhältniſs 1,32 hätte man 44° 15′ gefunden, für 1,3022 aber 42° 51′.

Diese Entfernung trifft merkwürdig mit dem Halbmesser des zwar minder oft, aber doch gar nicht selten beobachteten zweiten Ringes um die Sonne zusammen. Alle Beobachter geben seinen Halbmesser nahe doppelt so groſs, als den des ersten Ringes an, also etwa $42\frac{1}{2}$ bis 43 oder 44 Grade [1]. Dieser Ring zeigt immer schöne Regenbogenfarben, das Roth der Sonne am nächsten, und diese Farben sind gewöhnlich reiner als beim ersten Hofe.

Aber obgleich der Abstand jener Grenze der Brechung so gut mit diesem Ringe übereinstimmt und sich leicht übersehen läſst, daſs ein Ring um die Sonne durch jene Prismen hervorgebracht werden kann, so scheint es doch erstlich, daſs nur ein violetter und blauer Rand in dieser Entfernung sich zeigen kön-

---

1. Mém. de Paris 1721. 231. 1735. 87. 585. Phil. Tr. 1737. 59. Nov. Comm. Petrop. VIII. 392. Nov. Act. Petrop. VIII. 334. G. XVIII. 105. De Zach Corresp. X. 534. Hansteen Magaz. 1826. I. 154.

Digitized by Google

ne, und zweitens, daſs auch nur wenige Prismen beitragen könnten, um diesen Ring zu zeigen, weil eine, nur um ½ Grad fortgerückte Lage des Prisma's schon den Abstand des Bildes von der Sonne um mehrere Grade vermindert. Aber merkwürdig trifft es sich, daſs eine andere Brechung sich genau mit dieser vereinigt, um den Ring in diesem Abstande zu verstärken. Venturi macht nämlich die Bemerkung, daſs ja bekanntlich in den Schneesternchen mehrere solche Prismen vereiniget sind, Fig.
und daſs hier der Lichtstrahl zy so auffallen könnte, daſs er 110.
zuerst nach yx gebrochen, dann bei x in die Luft übergehend, die zweite Spitze in w so träfe, daſs qw = qx würde; dann ergebe sich bei w eben die Brechung wie bei x; bei v eben die Brechung wie bei y und die austretenden Strahlen vu wären so gut, wie die bei y eintretenden, unter sich parallel. Damit aber nun vu mit yz einen Winkel von ungefähr 44 Gr. mache, findet Venturi es nöthig, den Winkel des Prisma's auf 55 bis 56° herabzusetzen, und dieses scheint mir unangemessen, da gerade jene Prismen von genauen 60 Graden die Grundlage unserer ganzen Untersuchung ausmachen. Ich stelle daher lieber die Frage auf, unter welchem Winkel = wqx müssen die gleichseitigen Prismen verbunden seyn, damit uv mit yz einen Winkel von 44 Graden bilde. Dieser Werth ist sehr nahe 90 Grade; denn wenn ich

$$wxq = xwq = 45^\circ \text{ setze, so ist}$$

$$\text{Cos. } rxy = \frac{\text{Cos. } 45^\circ}{1{,}31};\ rxy = 57^\circ\ 19'.$$

$$ryx = 62^\circ\ 41';\ nyz = 53^\circ\ 3';$$

der Strahl xw macht also mit zy einen Winkel von 21° 57′, und uv mit zy einen Winkel von 43° 54′. Das Brechungsverhältniſs 1,3022 giebt 42° 48′. Bei den Prismen also, welche auf diese Weise wirksam seyn sollten, müſsten die Prismen zu zwölfseitigen regelmäſsigen Sternen verbunden seyn. — Es ist nicht unmöglich, daſs dieses der Fall wäre, aber einen groſsen Werth mag ich dennoch nicht auf diese Strahlen setzen, obgleich ihre Wirksamkeit sehr groſs seyn würde, da eine erhebliche Aenderung in der Lage des prismatischen Schneesterns nur wenig Aenderung in die Richtung des hervorgehenden Strahles bringt.

Aber es ist nicht nöthig, daſs zwei Prismen auf diese Weise fest verbunden sind, sondern noch bei einem zweiten gegen-

seitigen Stellungswinkel erhält das Auge durch zwei Prismen wirksame Strahlen. Es ist nämlich aus der frühern Betrachtung bekannt, daſs m v w = 60° wird, wenn u v p = 49° 5′ ist; wenn also zwei Prismen so neben einander stehen, daſs w q x = 81° 50′ ist, so fällt der Strahl auf das zweite Prisma unter eben dem Winkel auf, unter welchem er aus dem ersten austrat, und die in z y parallel einfallenden Strahlen sind nicht nur in w x, sondern auch in u v wieder unter sich parallel, oder sind wirksame Strahlen, und u v ist um genau doppelt so viel von z y abgelenkt, als w x es war. Dadurch sind aber die Farben viel reiner getrennt, als bei der Bildung des ersten Ringes; denn statt daſs beim ersten Ringe die beiden Brechungsverhältnisse 1,306 und 1,31 die Halbmesser der Ringe = 21° 32′ und 21° 50′ gaben, erhalten wir hier 43° 4′ und 43° 40′, so daſs nicht mehr die von einer Seite der Sonnenscheibe kommenden rothen Strahlen sich mit den von der andern Seite kommenden blauen Strahlen vermischen.

Und dieser Ring fällt nun genau mit dem vorhin gefundenen blauen Rande zusammen. Es entsteht also wegen dieser doppelten Ursache erstlich ein Ring, in welchem Blau und Violett am schönsten hervortritt, aber zweitens ein mit allen Farben geschmückter Ring, dessen Zusammenfallen mit dem ersten folgende Zahlen genauer angeben. Wenn man für die fünf Brechungsverhältnisse 1,3022, 1,306; 1,31; 1,314; 1,32 rechnet, so entsprechen erstlich diesen Zahlen folgende Abstände als Grenzen der Refraction:

42° 51′; 43° 9′; 43° 28′; 43° 47′; 44° 15′.

Dagegen erhalten die mit eben jenen Zahlen berechneten, durch Brechung in zwei Prismen hervorgebrachten Kreise, die Halbmesser: 42° 30′; 43° 4′; 43° 40′; 44° 17′; 45° 12′.

Setze ich also auf Brewster's Autorität für die Brechung der mittleren Strahlen im Eise 1,307, was dann für die rothen ungefähr 1,302 und für die violetten 1,312 geben würde, so treffen die violetten Strahlen des ersten Ringes ungefähr auf die blauen des zweiten und müssen den äuſseren Rand schön blau geben, wie er auch erscheint, Grün und Gelb würde aus beiden Ringen fast genau zusammenfallen, wenn es im ersten so getrennt vorhanden wäre, und kurz das Zusammentreffen beider Ringe könnte nie schöner seyn, so daſs selbst Wasserprismen keine solche Vereinigung dieser aus zwei Umständen her-

Digitized by Google

vorgehenden Erscheinung darbieten würden. Wegen der Gröſse des Sonnendurchmessers findet einige Mischung statt, die sich leicht noch genauer angeben lieſse. Daſs man zuweilen nur Roth und Grün sieht[1], kann davon herrühren, daſs das Gelb des letzten Ringes mit dem Blau des ersten gemischt wird, und das Blau selbst auf dem Blau des heitern Himmels sich nicht erheblich auszeichnet.

Wären zwölfspitzige Schneesterne vorhanden, so würden auch die aus ihnen hervorgehenden Strahlen beinahe mit den vorigen zusammentreffen, jedoch so, daſs die blauen Strahlen unseres Ringes mit etwas Grün aus den zwölfspitzigen Sternen gemischt würden.

Mehr Uebereinstimmung zwischen Theorie und Beobachtung kann man, glaube ich, nicht fordern. Und wenn man etwa die Voraussetzung, daſs die beiden Prismen, welche die Strahlen durch sich hindurch lassen, eine so abgemessene Lage haben müssen, zu künstlich fände, so muſs man bedenken, daſs es auch hier auf eine ganz strenge Uebereinstimmung nicht ankommt, sondern selbst 10 Grade Abweichung des einen oder andern Prisma's von der genau richtigen Lage noch keinen sehr erheblichen Unterschied machen, und daſs unter den zahllosen Eisprismen eine zum Entstehen des Phänomens hinreichende Anzahl richtig gestellter Prismen sich immer finden kann. Die Seltenheit der Erscheinung zeigt, daſs es immer von begünstigenden Umständen abhängt, wenn diese Erscheinung sich zeigen solle.

Endlich bietet die Betrachtung der Brechung in den Eisprismen uns noch einen dritten merkwürdigen Fall dar. Wenn das Prisma von der Stellung a b c so abweicht, daſs der Strahl Fig. 109.
fO nicht mehr in die Luft hervordringen kann, so wird er in f zurückgeworfen, und gelangt etwa nach O′, und das Auge O erhält diesen reflectirten Strahl aus dem Prisma $\alpha\, b\, \gamma$ in der Richtung n O, statt daſs aus den zwischen f und n liegenden Prismen kein Lichtstrahl zum Auge gelangt. In der Entfernung s O n von der Sonne sieht das Auge O also wieder einen hellen Ring, da das für s O n geltende nach allen Richtungen rund um die Sonne gilt. Wir wissen aus dem Vorigen, daſs da, wo $l\, m\, \gamma = 40^\circ\ 14'$ ist, der Strahl aufhört in die Luft hervorzuge-

1 G. XI. 414.

hen, also nach m n O zurückgeworfen und gebrochen fortgeht. Da ist $S'''l\alpha = 76° 32'$, und da die Zurückwerfung nach m n unter einem gleichen Winkel, $nm\beta = lm\gamma$ geschieht, so weicht n O doppelt so viel von $S'''l$, als f O von $S'g$ ab, oder dasjenige Prisma, welches dem Auge O den zurückgeworfenen Strahl zusendet, ist um $86° 56' = sOn$ von der Sonne entfernt. Für die minder brechbaren Strahlen würde dieser Abstand kleiner, und demnach müſste der rothe Rand dieser reflectirten Bilder in etwa 86° 20′ von der Sonne erscheinen. Einen solchen Ring in ungefähr 90 Graden Entfernung von der Sonne, hat nur Hevelius gesehen, und es ist mir keine andere Beobachtung desselben bekannt[1]. Dieser Ring war weiſs.

Obgleich aber dieser Ring so selten zu Gesichte kommt, so werden doch die ihm entsprechenden Nebensonnen, von welchen ich bald reden werde, etwas öfter gesehen. Daſs auch sie weiſs sind, könnte als Einwurf gegen diese Erklärung angesehen werden, indem der Rand eigentlich roth erscheinen sollte, und die entfernteren Strahlen sich mit den dort ebenfalls reflectirten Sonnenbildern mischen. Indeſs muſs man wohl einen wichtigen Umstand mit berücksichtigen. Obgleich erst bei der hier betrachteten Lage des Prisma's die vollkommene Reflexion des Lichtstrahls eintritt, so wird doch bekanntlich von einem jeden aus Glas, Wasser oder Eis hervortretenden Lichtstrahle ein sehr bedeutender Theil vor dem Austritte reflectirt, und dieses so reflectirte Licht ist weiſses Licht, und kann durch seine Mischung mit dem rothen und gelben Lichte vielleicht hinreichen, um diesen Ring und die ihm entsprechenden Nebensonnen weiſs zu zeigen. Der von diesen Nebensonnen zuweilen gebrauchte Ausdruck: silberweiſs, läſst freilich den Zweifel, ob diese Erklärung ausreiche, übrig, und ich habe deswegen gesucht, Strahlen, die sich mit diesen vereinigen könnten, um Weiſs zu bilden, zu finden, aber ich kann, ohne allzu künstliche Voraussetzungen, keine andere Brechung auffinden, die in 90 Grad Entfernung von der Sonne einen Ring hervorbringen könnte.

---

1 Hevelii mercurius in sole visus App. p. 171.

Digitized by Google

## 2. Die Nebensonnen.

Es scheint, daſs diese keiner besondern Erklärung bedürften, da sie gewöhnlich in den Durchschnittspuncten der Kreise entstehen, und man sich daher sogleich berechtigt glaubt zu sagen, daſs da, wo zwei vereinte Wirkungen ein helleres Licht hervorbringen, sich eine Nebensonne zeigen könne. Aber nicht immer stehen sie genau auf jenen Durchschnittspuncten, und dieser Umstand verdient um so mehr eine nähere Betrachtung, da er mit der Theorie sehr gut zusammen zu stimmen scheint. Ich verweile hier nur bei den Nebensonnen, die sich in dem weiſsen Horizontalkreise zeigen, indem diejenigen glänzenden Stellen der Höfe, welche ihren Glanz den Berührungskreisen verdanken, nachher erwähnt werden.

Am häufigsten, ja in der That ganz ungemein oft, zeigen sich Nebensonnen horizontal neben der Sonne in ungefähr 22 Graden Entfernung von derselben. Sie zeigen sich, wenn auch der weiſse Horizontalkreis sehr schwach oder gar nicht erkannt wird, und sind oft recht deutlich sichtbar, wenn man auch von dem Hofe um die Sonne nur schwache Spuren entdeckt. Sie haben ganz genau die Farben, die der erste Hof zeigt, nur daſs diese glänzender in den Nebensonnen erscheinen. Sie zeigen sich oft mit einem von der Sonne abwärts, dem Horizonte parallel gerichteten weiſsen Schweife, der sich oft durch eine ansehnliche Zahl von Graden fort erstreckt, und nicht ganz selten stehen sie auſserhalb jenes Ringes, dessen Entfernung wir 22 Grade ungefähr fanden[1].

Nach Venturi's Bemerkung stehen die Nebensonnen nur dann auſserhalb des ersten Ringes um die Sonne, wenn diese erheblich hoch steht, und er sucht daher mit Recht den Grund dieser Erscheinung in dem Umstande, daſs die Brechung in den vertical schwebenden Prismen nicht genau in einer gegen die Kanten senkrechten Ebene erfolgt. Da er die Untersuchung

---

1 Unter den zahlreichen Beobachtungen führe ich nur solche an, die etwas Merkwürdiges haben: Hugen. opp. posth. 362. Miscell. Berolin. VI. 253. Nov. Comm. Petrop. VI. 438. VIII. 392. Ph. Transact. I. 219. XXXI. 312. XXXIV. 257. XL. 59. Mém. de Paris X. 647 und 1735. p. 87. Die Beob. vom 23. Febr. Mém. de Paris 1721. 231. De Zach Corr. X. 534. Transact. of the Irish Acad. 1787.



Digitized by Google

nicht genauer führt, ſo glaube ich ihre Entwickelung hier mittheilen zu müſsen.

Wenn die Sonne ſehr niedrig ſteht, ſo liegen die Kanten der verticalen Priſmen, denen wir die Entſtehung des weiſsen Horizontalkreiſes zuſchreiben, faſt ſenkrecht auf die durch die Sonne das Auge und das Priſma gelegte Ebene, und es würden, wenn auch dieſe verticalen Eisnadeln allein vorhanden wären, ſich in dem weiſsen Horizontalkreiſe in der Entfernung $= 21°$ $50'$ farbige Nebenſonnen zeigen müſsen, obgleich der übrige Theil des Ringes um die Sonne dann nicht erſchiene. So verhält es ſich aber genau genommen nur dann, wenn die Sonne im Horizonte ſteht, und bei höherem Sonnenſtande muſs die Rechnung auf folgende Weiſe angeſtellt werden.

Fig. Es ſey S A ein auf das verticale Priſma fallender Lichtſtrahl,
111. A c die durch den Einfallspunct A auf der Oberfläche des Priſma's gezogene Horizontallinie, A b die horizontale Projection des Strahles. Da das Priſma verſchiedene Stellungen haben kann, während es immer vertical bleibt, ſo iſt $bAc = \varphi$ ein veränderlicher Winkel, die Sonnenhöhe $BAS = \alpha$ dagegen iſt eine gegebene, beſtändige Gröſse, und $qAS = 90° - \alpha$, wenn A q vertical mit den Kanten des Priſma's parallel iſt. Irgend ein Punct s des Strahles wird durch die drei Coordinaten $Ac = x$, parallel mit der Seite der Grundfläche, c b ſenkrecht auf die Ebene der Seitenfläche $= x$ Tang. $\varphi$, und $bs = x$ Sec. $\varphi$ Tang. $\alpha$, parallel mit A q, beſtimmt.

Es ſey A d die Projection des Strahles auf die Seitenfläche, und s d ſenkrecht auf dieſe Seitenfläche, ſo iſt $sd = bc$,

$$As = x\sqrt{(1 + \text{Tang.}^2\,\varphi + \text{Sec.}^2\,\varphi\ \text{Tang.}^2\,\alpha)}$$
$$= x\ \text{Sec.}\,\varphi\ \text{Sec.}\,\alpha$$

$$\text{Sin. } sAd = \frac{sd}{As} = \frac{.\ \text{Tang.}\,\varphi}{\text{Sec.}\,\varphi.\,\text{Sec.}\,\alpha} = \text{Sin.}\,\varphi.\,\text{Cos.}\,\alpha = \text{Cos. } sAp,$$

und s A p iſt der Einfallswinkel oder A p das Einfallsloth. Ferner iſt auch Tang. $dAc =$ Cotang. $qAd =$ Sec. $\varphi$. Tang. $\alpha$. Da der gebrochene Strahl A T in derſelben, auf die erſte Seitenfläche ſenkrechten Ebene bleibt, und für das Brechungsverhältniſs $= m$

$$\text{Cos. } TAd' = m\ \text{Cos. } SAd \text{ iſt,}$$

ſo iſt hiermit die Lage des Strahles völlig beſtimmt, und da hier $q'Ad' = qAd$ in der Seitenfläche, $TAd'$ in ei-

Digitized by Google

ner gegen sie senkrechten Ebene liegt, so ist Cos. T A q′ = Cos. q A d Cos. T A d′.

$$= \frac{\text{Sin. } \alpha \,.\, \text{m} \,.\, \sqrt{(1 - \text{Sin.}^2 \varphi \text{ Cos.}^2 \alpha)}}{\sqrt{(\text{Sin.}^2 \alpha + \text{Cos.}^2 \varphi .\, \text{Cos.}^2 \alpha)}} = \text{m Sin. } \alpha,$$

und Cos. T A c′ = m. Cos. S A c.

Um den Winkel = $\psi$ zu bestimmen, den die Projection A b′ des gebrochenen Strahles auf eine mit der Grundfläche parallele Ebene gezeichnet, mit A C macht, sey A c′ = y, c′ d′ = y. Tang. c′ A d′ = y. Sec. $\varphi$. Tang. $\alpha$, und d′t = A d′. Tang. T A d′, oder d′ t = $\text{y}\sqrt{(1 + \text{Sec.}^2 \varphi .\, \text{Tang.}^2 \alpha)} . \frac{\sqrt{(1 - \text{m}^2 \text{ Cos.}^2 \text{ S A d})}}{\text{m} \,.\, \text{Cos. S A d}}$

oder weil Cos. S A d = $\sqrt{(1 - \text{Sin.}^2 \varphi .\ \text{Cos.}^2 \alpha)} = \sqrt{(\text{Sin.}^2 \alpha + \text{Cos.}^2 \alpha .\ \text{Cos.}^2 \varphi)}$

$$\text{d}'\,\text{t} = \frac{\text{y} .\, \sqrt{(1 - \text{m}^2 + \text{m}^2 .\ \text{Sin.}^2 \varphi \text{ Cos.}^2 \alpha)}}{\text{m. Cos. } \varphi \text{ Cos. } \alpha}$$

$$\text{Tang. b}'\,\text{A c}' = \frac{\text{b}'\,\text{c}'}{\text{A c}'} = \frac{\text{d}'\,\text{t}}{\text{A c}'}$$

$$= \frac{\sqrt{(1 - \text{m}^2 + \text{m}^2 \text{ Sin.}^2 \varphi \text{ Cos.}^2 \alpha)}}{\text{m Cos. } \varphi .\, \text{Cos. } \alpha}$$

und Cos. b′ A c′ = $\frac{\text{m. Cos. } \varphi .\ \text{Cos. } \alpha}{\sqrt{(1 - \text{m}^2 \text{ Sin.}^2 \alpha)}}$ = Cos. $\psi$.

$\psi - \varphi$ ist der Winkel, den die Projection des gebrochenen Strahles mit der des ungebrochenen macht.

Wenn nun der bei T heraus ſahrende Strahl so gebrochen wird, daſs seine horizontale Projection mit der der Seitenlinie C c″ parallelen T f den Winkel = $\varphi'$ macht, und seine Neigung gegen den Horizont = $\alpha'$ ist, so erhellet wohl leicht, daſs für Cos. b′ A′ C ebenso gut wieder

$$= \frac{\text{m Cos. } \varphi' .\ \text{Cos. } \alpha'}{\sqrt{(1 - \text{m}^2 \text{ Sin.}^2 \alpha')}}$$

geſunden würde. Aber

$$\text{b}'\,\text{A}'\,\text{C} = 120^\circ - \text{b}'\,\text{A C}$$

also Cos. b′ A′ C = $- \frac{1}{2}$ Cos. b′ A C + $\frac{\sqrt{3}}{2}$ Sin. b′ A C, und es soll also

$$\frac{m\ Cos.\ \varphi'\ Cos.\ \alpha'}{\sqrt{(1-m^2.\ Sin.^2\ \alpha')}} = -\tfrac{1}{2}\ \frac{m\ Cos.\ \varphi\ Cos.^2\ \alpha}{\sqrt{(1-m^2\ Sin.^2\ \alpha)}}$$
$$+\frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{\frac{1-m^2+m^2\ Sin.^2\ \varphi\ Cos.\ \alpha}{1-m^2.\ Sin.^2\ \alpha}}$$

seyn.

Zugleich aber ist auch für die Neigung Cos. T A q' = m Sin. $\alpha$, und aus eben den Gründen C Cos. A T A' = m Sin. $\alpha'$, folglich $\alpha' = \alpha$, und daher nun in obiger Gleichung weit bequemer, m Cos. $\alpha$ (Cos. $\varphi' + \frac{1}{2}$ Cos. $\varphi$)

$$= \frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{(1-m^2+m^2\ Sin.^2\ \varphi\ Cos.^2\ \alpha)},$$

woraus $\varphi'$ in allen Fällen bestimmt wird.

Soll aber als besonderer Fall $\varphi' = \varphi$ seyn, so würde

$m^2\ Cos.^2\ \alpha.\ \frac{9}{4}\ (1 - Sin.^2\ \varphi) = \frac{3}{4}\ (1 - m^2 + m^2\ Cos.^2\ \alpha\ Sin.^2\ \varphi)$

$3\,m^2\ Cos.^2\ \alpha - 1 + m^2 = 4\,m^2\ Cos.^2\ \alpha\ Sin.^2\ \varphi$

$$Sin.\ \varphi = \frac{\sqrt{\{m^2\ (1+3\ Cos.^2\ \alpha)-1\}}}{2\,m\ Cos.\ \alpha} \text{ oder}$$

$$Cos.\ \varphi = \frac{\sqrt{(1-m^2\ Sin.^2\ \alpha)}}{2\,m\ Cos.\ \alpha}$$

welches für $\alpha = 0$ in Cos. $\varphi = \frac{1}{2\,m}$; Cos. $\psi$ in = m Cos. $\varphi$ = $\frac{1}{2}$ = Cos. 60° übergeht, wie es seyn muſs.

Für diese Gleichheit $\varphi = \varphi'$ ist bei jedem Werthe von $\alpha$ allgemein $\psi = \psi' = 60°$, weil Cos. $\psi = \dfrac{m\ Cos.\ \varphi\ Cos.\ \alpha}{\sqrt{(1-m^2\ Sin.^2\ \alpha)}}$ nun $= \frac{1}{2}$ ist.

Ich brauche wohl nicht erst zu bemerken, daſs ich bei diesem Falle, wo $\varphi = \varphi'$ ist, darum verweile, weil er offenbar derjenige ist, bei welchem das Minimum der Brechung eintritt, und da hier $\psi - \varphi$ die horizontale Projection des Winkels ist, um welchen der im Prisma gebrochene Strahl von der Richtung des einfallenden abweicht, so erhellet leicht, daſs 2 $(\psi - \varphi)$ der Azimuthalabstand derjenigen Nebensonne, welche durch die verticalen Prismen allein hervorgebracht wird, seyn wird.

Die obigen Formeln geben für $\alpha = 30°$,

$$Cos.\ \varphi = \sqrt{\left(\frac{\frac{1}{m^2}-\frac{1}{4}}{3}\right)}, \text{ also da } \frac{1}{m} = 1{,}31;\ \frac{1}{m^2} = 1{,}7161\ Cos.\ \varphi$$
$$= 0{,}69907;\ \varphi = 45°\ 39';\ 2\,(\psi - \varphi) = 28°\ 42'.$$

Digitized by Google

Dieses ist der Azimuthalabstand dieser Nebensonne, und ihr wahrer Abstand von der Sonne wird als dritte Seite eines gleichschenklichen Dreieckes, dessen zwei Seiten $= 60^\circ$, der eingeschlossene Winkel $= 28^\circ\ 42'$ ist, durch:

$$\text{Cos. Abstand} = \text{Cos.}^2\ 60^\circ + \text{Cos.}\ 28^\circ\ 42'\ \text{Sin.}^2\ 60^\circ$$
$$= \tfrac{1}{4} + \tfrac{3}{4}\ \text{Cos.}\ 28^\circ\ 42'$$
$$= \text{Cos.}\ 24^\circ\ 47'\ \text{gefunden,}$$

so daſs die Nebensonne also bei $30^\circ$ Sonnenhöhe beinahe 3 Grade auſserhalb des innern Ringes stehen müſste. Für $\alpha = 45^\circ$ hätte man $\text{Cos.}\ \varphi = \dfrac{\sqrt{\left(\frac{2}{m^2}-1\right)}}{2} = 0{,}7798$,

$\varphi = 38^\circ\ 45'$; $2\,(\psi - \varphi) = 42^\circ\ 30'$ als Azimuthalabstand, aber

$$\text{Cos. Abstand} = \text{Cos.}^2\ 45^\circ + \text{Cos.}\ 42^\circ\ 30'\ \text{Sin.}^2\ 45.$$
$$= \tfrac{1}{2}\,(1 + \text{Cos.}\ 42^\circ\ 30')$$
$$= \text{Cos.}\ 29^\circ\ 42',$$

also die Nebensonne 8 Grade auſserhalb des Ringes.

Aus dieser Entwickelung erhellt, daſs wir bei hohem Stande der Sonne an jeder Seite derselben zwei Nebensonnen sehen könnten, eine da, wo der innere Hof den Horizontalkreis durchschneidet, und eine da, wo unsre eben geführte Berechnung sie angiebt. Die letztere nämlich würde allein entstehen, wenn einzig verticale Eisprismen vorhanden wären, die andere wird aber zugleich entstehen können, wenn in der Höhe, welche der Sonnenhöhe gleich ist, sich unter den nach allen Richtungen geneigten Nadeln eine hinreichende Anzahl befindet, in welcher die Brechung in der gegen die Kanten senkrechten Ebene statt findet. Cassini hat wirklich zwei solche Nebensonnen gesehen[1], die im Horizontalkreise 4 Grade von einander entfernt standen. — Andere Beobachtungen[2], wo die Sonne auſserhalb des Ringes stand, sind am 13. Apr. 1733 bei 40 bis 45° Sonnenhöhe, von Cassini am 14. Apr. und von Maraldi am 9. Apr. bei 39 Gr. Sonnenhöhe, von Scheiner bei 28½ Gr. Sonnenhöhe, von v. Hoff bei 25 Gr. Sonnenhöhe, von Hamilton am 24. Sept. 1783 (bei einer Sonnenhöhe, die etwa 40 Grade betragen mochte). Bei der letztern Beobachtung stand die Neben-

---

1 20. Mai 1677. Mém. de Paris X. 583.

2 in den kurz vorher angeführten Abh.

sonne 26 Grade von der wahren Sonne, also 4 Grade auſserhalb des Ringes, was zu der Theorie wohl paſst.

Der Schweif, der sich von den Nebensonnen aus, mit weiſsem Lichte von der Sonne abwärts erstreckt, entsteht dadurch, daſs auch die zunächst über das Minimum der Brechung hinaus neben der Sonne stehenden verticalen Prismen noch immer viel mehr gebrochene Strahlen als die entferntern zum Auge senden.

Bei den Nebensonnen, die auf dem zweiten Hofe um die Sonne in seinem Durchschnitte mit dem Horizontalkreise entstehen könnten, verweile ich nicht. Sie sind selten gesehen worden[1], und würden allenfalls zu Betrachtungen, den eben angestellten ähnlich, Anlaſs geben.

Auch die Gegensonnen (*Anthelii*) geben mir keine Veranlassungen zu ausführlichern Untersuchungen. Sie zeigen sich auf dem weiſsen Horizontalkreise, der Sonne gerade gegenüber und entstehen entweder aus dem Durchschnitte eines horizontalen und verticalen Kreises, oder aus den Durchschnitten der unter Winkeln von 60 Graden gegen einander geneigten Kreise[2].

Desto merkwürdiger sind diejenigen Nebensonnen, die zuweilen etwa 90 Grade von der Sonne entfernt gesehen worden sind. Diese sind so selten, daſs Venturi nur acht Beobachtungen angeben konnte, wo sie gesehen waren, und auch ich kann nicht viel mehrere mittheilen. Bei der Vergleichung dieser Beobachtungen scheint aber Venturi in einen Irrthum gefallen zu seyn, indem er den Abstand von der Sonne, der in einigen Beobachtungen als Azimuthalabstand angegeben ist, immer als Abstand, in Bogen eines gröſsten Kreises gemessen, ansieht. Venturi läſst diese Nebensonne ganz unerklärt; ich will wenigstens die Frage, ob sie sich aus dem Durchschnitte des so selten gesehenen dritten Ringes mit dem Horizontalkreise erklären lassen, etwas näher betrachten. Die Beobachtungen, die meistens ohne genaue Messung angestellt sind, und zum

1 Z. B. Dobbs Ph. Tr. 1722. XXXII. 89. Mallet Abh. d. Schwed. Akad. 1763. S. 45. und einige Beobachtungen bei Hugen.

2 Die Beobachtungen sind ziemlich zahlreich, zum Beispiel von Hevelius, Hugen. opp. posth. 532 von Weidler Phil. Tr. 1739. XLI. 221. von Swinton Ph. Tr. 1737. 94. von Hoff in de Zach Corr. X. 534. Schult in Hanst. Mag. 1826. 154.

Digitized by Google

Theil nur aus den mitgetheilten Zeichnungen beurtheilt werden können, sind folgende: 1684 am 24. Jan, als der Mond nach der Zeichnung zu urtheilen, nicht volle 30 Grade hoch stand, waren diese Nebenmonde im Azimuth 120 Grade von ihm entfernt[1]. Scheiner's Beobachtung ist in einer so unvollkommenen Zeichnung dargestellt, daſs man den Abstand, auch nur oben hin, reichlich so groſs als in der vorigen Beobachtung, bestimmen kann[2]. Hevelius giebt diesen Nebensonnen 90 Grade Abstand, indem er sie auf dem Kreise sah, von dem er angiebt, daſs er durch den Pol der Ekliptik ging[3]. Bei der Beobachtung eines Ungenannten am 9. April 1666 stand die Sonne 40 Gr. hoch, die Nebensonne ist in einem sehr groſsen Azimuthalabstande von der wahren Sonne gezeichnet[4]. Whiston's Beobachtung kann gar nichts entscheiden, da er selbst den Zweifel äuſsert, daſs seine, nach Augenmaſs gemachte Zeichnung die Entfernung vielleicht zu groſs angebe[5]. Mallet bestimmte am 5. März 1763 um 10 Uhr in Upsala den Azimuthalabstand 124 Grade, jedoch mit einer auf einige Grade gehenden Unsicherheit, weil er das Meſs-Instrument in freier Hand hielt. Nachmittags um 2 Uhr fand er diese Winkel nur 100 Grade, so daſs er also bei gleicher Sonnenhöhe sehr verschieden auszufallen schiene[6]. Hamilton hat bei einer Beobachtung am 24. Sept. 1783 den Abstand mit den Spiegelsextanten $= 90°$ gefunden, und dieses ist offenbar der Bogen eines gröſsten Kreises[7]. Baxter sah sie bei etwa 20 Graden Sonnenhöhe mitten zwischen der Gegensonne und der Nebensonne im ersten Ringe. Setze ich also den letzteren Azimuthalabstand beinahe $= 24°$, so würde der Azimuthalabstand der hier zu betrachtende $= 102°$.[8] Lowitz, welcher aber auch nicht gemessen hat, und überdies nicht angiebt, für welchen Zeitpunct, oder für welche Sonnenhöhe seine Zeichnung gilt, giebt ihm in seiner Zeichnung einen

1 G. XVIII. 105.
2 Cartes. Meteor. Cap. 10.
3 Mercur. in sole visus. in Append. und Hugen. p. 332.
4 Ph. Tr. I. 219.
5 Ph. Tr. 1727. XXXIV. 258.
6 Abh. d. Schwed. Acad. 1763. S. 44.
7 Transact. of the Irish Acad. 1787.
8 Phil. Tr. 1787. 44.

Digitized by Google

Azimuthalabstand von reichlich 130 Graden. Da die Beobachtung Lowitz's am 29. Juni angestellt wurde und die Erscheinung bis gegen Mittag dauerte, so erreichte die Sonne eine Höhe von 50 Graden und darüber, und eine genaue Beobachtung wäre hier besonders belehrend gewesen[1]. von Hoff giebt diesen Nebensonnen 90 Grade Azimuthalabstand bei einer Sonnenhöhe von 25 Graden[2]. Schult und Segelke sahen diese Nebensonnen am 27. März 1826. in Kongsberg und gaben ihren Abstand nur nach dem Windstriche etwa 112 bis 120 Gr. an[3]. Parry endlich giebt bei einer Beobachtung, wo die Sonne nur niedrig stehen konnte (am 21. März 1825. 9½ Uhr), den Abstand 114½ Grad an[4].

Diese ungleichen Angaben, die nicht nach Maſsgabe der Sonnenhöhe verschieden zu seyn scheinen, sind zwar sehr geeignet, um von allen Erklärungsversuchen abzuschrecken, indeſs will ich dennoch die Untersuchung, ob der ganz zurückgeworfene Lichtstrahl uns einigen befriedigenden Aufschluſs gebe, so wie es bei dem dritten Hofe der Fall zu seyn schien, durchführen. Um nämlich den Ort desjenigen verticalen Prisma's zu finden, welches den Lichtstrahl nicht mehr in die Luft hervordringen läſst, kehre ich zu der bei den ersten Nebensonnen geführten Untersuchung zurück, und setze nun $\varphi' = 0$,

$$\text{Cos. } b' A' C = \frac{\text{m. Cos. } \alpha}{\sqrt{(1 - m^2 \text{ Sin.}^2 \alpha)}}$$

indem ja auch hier $\alpha' = \alpha$ seyn wird. So ist für jeden Werth von $\alpha$ der Winkel b′ A′ C, also auch b′ A c′ bekannt, und $\varphi$ lieſse sich aus der Gleichung

$$\text{m Cos. } \alpha = -\tfrac{1}{2} \text{ m Cos. } \varphi \text{ Cos. } \alpha + \frac{\sqrt{3}}{2} \sqrt{(1 - m^2 + m^2 \text{ Cos.}^2 \alpha \text{ Sin.}^2 \varphi)}$$

finden.

Setze ich m Cos. $\varphi$ Cos. $\alpha$ = Cos. $\sigma$, so ist

$$2 \text{ m Cos. } \alpha + \text{Cos. } \sigma = \sqrt{3}.\sqrt{(1 - m^2 \text{ Sin.}^2 \alpha - \text{Cos.}^2 \sigma)}$$

$$\text{oder } 4 m^2 \text{ Cos.}^2 \alpha + 4 \text{m Cos. } \alpha \text{ Cos.} \sigma + 4 \text{ Cos}^2 \sigma = 3 - 3 m^2 \text{ Sin.}^2 \alpha;$$

$$\text{Cos.}^2 \sigma + \text{m Cos. } \alpha \text{ Cos. } \sigma = \tfrac{3}{4} - \tfrac{3}{4} m^2 - \tfrac{1}{4} m^2 \text{ Cos.}^2 \alpha;$$

---

1 Nov. Act. Petrop. VIII. 384.

2 De Zach. Corr. X. 536.

3 Hanst. Mag. 1826. I. 154.

5 Ethnogr. Archiv XXXIII. 290.

Digitized by Google

$$\text{Cos. } \sigma = -\tfrac{1}{2} \text{ m Cos. } \alpha \pm \sqrt{\{1-m^2\}} . \frac{\sqrt{3}}{2} .$$

Für $\alpha = 0$ ist $\varphi = 76°\ 32'$, wie in der frühern Bestimmung.

Für $\alpha = 20°$ ist $\sigma = 78°\ 25'$; $\varphi = 73°\ 45'$.

Für $\alpha = 30°$ ist $\sigma = 76°\ 46'$; $\varphi = 66°\ 44'$.

Für $\alpha = 40°$ ist $\sigma = 74°\ 27'$; $\varphi = 62°\ 43'$.

Für $\alpha = 50°$ ist $\sigma = 71°\ 42'$; $\varphi = 50°\ 13'$.

Die Prismen, die den letzten gebrochenen Strahl ins Auge senden, hätten also die Azimuthalabstände von der Sonne

$= 43°\ 28'$, bei $\alpha = 0°$;

$= 46°\ 15'$, bei $\alpha = 20°$;

$= 50°\ 16'$, bei $\alpha = 30°$;

$= 57°\ 17'$, bei $\alpha = 40°$;

$= 69°\ 47'$, bei $\alpha = 50°$.

Die durch den ersten ganz zurückgeworfenen Strahl entstehenden Nebensonnen haben den doppelten Azimuthalabstand, der also

für $\alpha = 0°$; 87 Grade;

für $\alpha = 20°$; $92\tfrac{1}{2}$ Grade;

für $\alpha = 30°$; $100\tfrac{1}{2}$ Grade;

für $\alpha = 40°$; $114\tfrac{1}{2}$ Grade;

für $\alpha = 50°$; $139\tfrac{1}{2}$ Grade;

beträgt.

Obgleich ich nun nicht zu behaupten wage, daſs diese Bestimmungen hinreichend mit den meistens unvollkommenen Beobachtungen übereinstimmen, so kann ich doch auch nicht unbemerkt lassen, daſs die Beobachtungen zwischen eben diesen Grenzen hin und her schwanken, und daſs die Ungewiſsheit, ob die dem dritten Ringe angehörende Nebensonne oder die in den verticalen Nadeln entstehende beobachtet worden ist, einen neuen Zweifel herbeiführt. Die erstere müſste bei 30 Gr. Sonnenhöhe im Azimuthalabstande = 119 Grade, bei $46\tfrac{1}{2}$ Gr. Sonnenhöhe gänzlich mit der Gegensonne zusammenfallend erscheinen, und man müſste annehmen, daſs Mallet Vormittags und Hamilton, auch Schult und Segelke diese gesehen hätten, statt daſs Lowitz und von Hoff, auch Mallet Nachmittags jene sahen[1]. Aber es ist wohl für jetzt noch un-

---

1 Nach Mallet's Erzählung entstand das Phänomen Nachmittags ganz von Neuem, nachdem es um Mittag verschwunden war.

Digitized by Google

möglich, eine sichere Entscheidung über diesen Gegenstand zu geben[1].

## 4. Die Berührungskreise.

Den schwierigsten Theil des Phänomens machen die Berührungskreise aus. Ich will zuerst bei denen verweilen, welche ihren Berührungspunct am ersten oder zweiten Ringe in dem durch die Sonne gehenden Verticalkreise haben, und dabei zuerst bemerken, daſs die Erklärung, die man für sie aufſuchen mag, nothwendig sich genau an die Erklärung der Ringe anſchlieſsen muſs; denn diese gegen die Sonne convexen Kreisbogen bieten, auch wenn sie allein erscheinen, genau die Farben, wie die ihnen zugehörigen Ringe, dar[2]. Meistens scheint die Berührung so statt zu finden, daſs das Roth des Ringes von dem Roth des Berührungskreises berührt wird, das Blau in jenem von dem Blau in diesem, aber zuweilen ist das nicht so genau der Fall, sondern Musschenbroek sah[3] einmal das Roth des Berührungskreises sich mit dem Blau des zweiten Ringes mischen.

Diese gegen die Sonne convexen Bogen werden öfters, als

---

1 Noch eine Vermuthung mag hier erwähnt werden. Wir werden sogleich sehen, daſs die Ringe um die Sonne zuweilen in 60 Grad Abstand von ihrem höchsten oder tiefſten Puncte von andern Kreisen berührt werden, und solche Berührungskreise kann es wohl auch an
Fig. 112. diesem dritten Ringe geben. Wäre also $ASB = 60$ Grade, so wären es drei Kreise (der Horizontalkreis, der dritte Ring und dieser Berührungskreis), die in B das Licht verstärkten. Wenn $SA = SB = 87°$; $ASB = 60°$, so wird $ZB = ZS$, wenn beide $= 62° \, 13'$ sind; dann

$$\text{Cos. } ZB = \text{Cos. } ZS \text{ Cos. } 87° + \text{Cos. } 60° \text{ Sin. } ZS \text{ Sin. } 87°.$$

also für $ZS = ZB$ $\text{Tang. } ZS = \dfrac{1 - \text{Cos. } 87°}{\frac{1}{2} \text{ Sin. } 87°} = 0{,}2783.$

Bei einer Sonnenhöhe von 27° 47′, oder oberflächlich bei einer Sonnenhöhe von 26 bis 30 Graden findet also diese Verstärkung statt; bei gröſserer Sonnenhöhe entfernt sich der Berührungspunct am Ringe unterhalb des Horizontalkreises und der Berührungs- oder Durchschnittspunct mit dem Horizontalkreise rückt näher zur Gegensonne hin.

2 Auſser den schon angeführten sehr vollständigen Erscheinungen, vergl. über diese Bogen: Act. Erud. 1726. 223. Ph. Tr. XXXI. 212. Ph. Tr. 1737. XL. 54. 59. Mém. de Paris. 1721. 231. 1735. 87. Ph. Tr. 1787. 44. G. XVIII. 88. Hansteen's Magazin. 1826. I. 179.

3 Mém. de Paris 1735. 87. die Beobachtung vom 1. Mai.

Digitized by Google

das Zenith zum Mittelpuncte habend angegeben; aber selbst bei den am obern Puncte berührenden Kreisen sieht man aus mehreren Beobachtungen, daſs dieser Umstand kein constanter ist, sondern daſs die Mittelpuncte dieser Bogen zwar in dem durch die Sonne gehenden Verticalkreise, aber nicht genau im Zenith liegen, und bei den Kreisen, die im unteren Puncte der Ringe (wie es Fig. 103 am innern Ringe zeigt) berühren, findet dieses offenbar gar nicht statt.

Dieser Umstand widerlegt eine, sonst ungemein sich empfehlende Meinung FRAUNHOFER's über die Entstehung dieser Berührungskreise, die ich hier anführe, weil vielleicht in der Nähe der Berührungspuncte einige Verstärkung des Bogens, der aus andern Umständen entstehen muſs, so hervorgehen kann. FRAUNHOFER macht nämlich die Bemerkung, daſs die Strahlen, welche dem Auge den weiſsen Horizontalkreis darstellen, wenn sie auf Eisprismen fallen, ähnlichen Brechungen wie die Sonnenstrahlen selbst unterworfen sind. Kämen also nur aus einer einzelnen Gegend (von einem kleinen Stücke des Horizontalkreises her) solche Lichtstrahlen, so würden sie einen eben solchen Ring darstellen (wenn gleich schwächer), wie wir um die Sonne selbst sahen. Jeder Theil des Horizontalkreises bringt aber solche Ringe hervor, und diese bedecken daher den ganzen Himmel bis zu 22 Grad Entfernung vom Horizontalkreise, da aber zeigt sich uns der Rand dieser vereinten Ringe. Und das, was so in 22 Gr. Abstand eintritt, das findet auch in 44 Gr. Abstand wieder statt. Diese Erklärung hätte sehr viel Anlockendes, wenn nicht die Form des untern Berührungskreises ganz dagegen spräche.

VENTURI nimmt bei der Erklärung, die wohl ohne Zweifel statt findende Zuspitzung der Eisprismen zu Hülfe, und wählt der bequemern Darstellung wegen sechsseitige Prismen mit sechsseitigen Pyramidenspitzen, deren Ebenen er 120° geneigt gegen die zugehörigen Seitenflächee des Prisma's annimmt. Wenn diese Prismen vertical schweben, so ist es allerdings richtig, daſs der Winkel von 60 Graden, welchen die Pyramidenseite mit der gegenüber liegenden Seite des Prisma's macht, kein Sonnenbild näher als 22 Gr. bei der Sonne geben kann, daſs aber Prismen, die in gröſserem Abstande von der Sonne in angemessener Stellung den Strahl dem Auge zusenden, uns auch da gefärbte Bilder zeigen können; diese, gewiſs nicht unrich-

Digitized by Google

tige, Behauptung bestätigt er mit einem Versuche, wo ein mit Wasser gefülltes Prisma, das sich in eine Pyramide endigte, die Stelle des Eisprisma's vertrat. Aber obgleich solche Prismen Sonnenbilder, vermöge der auf die Spitze auffallenden Strahlen, geben, so scheint mir doch der convexe Bogen damit nicht erklärt zu seyn. Da nämlich dieser Bogen, so viel mir bekannt ist, genau eben die Färbung hat, wie der Ring, an welchem er berührend ist, so muſs er, meiner Meinung nach, beim ersten Ringe als ein Minimum der Brechung erklärt werden, und da läſst sich leicht Folgendes übersehen. Wenn alle diese Pyramidenspitzen unter 60 Graden gegen die Verticallinie geneigt sind, und die zugehörigen Seitenflächen sind vertical, so giebt es nur eine einzige Azimuthalstellung, bei welcher sich ein Sonnenbild zeigt, das jenem Minimum entspräche, und wenn man dieses Bild bei einer gewissen Lage des Prisma's oder der Pyramidenspitze sieht, so darf man das Prisma nicht von diesem Puncte entfernen, ohne es zu verlieren. Soll sich in mehreren Orten ein solches, dem Minimum der Brechung entsprechendes Bild zeigen, so muſs sich mit verändertem Orte des Prisma's nicht bloſs die Azimuthallage der Seite des Prisma's ändern, sondern auch die Neigung seiner Seitenfläche, die wir übrigens immer als unter 60 Grade gegen einander geneigt ansehen. Statt Venturi's Gedanken weiter zu verfolgen, will ich daher untersuchen, wiefern die horizontal liegenden dreiseitigen Prismen selbst solche Berührungsbogen an den Ringen um die Sonne hervorbringen können; denn daſs horizontale Prismen dabei ihre Wirkung zeigen, läſst sich aus der Lage des Berührungspunctes schlieſsen, der in den gewöhnlichen Fällen entweder der höchste oder der tiefste Punct des Ringes ist.

Fig. 113. Es sey also eine Seite A E F B unter dem Winkel $= \beta$ gegen den Horizont geneigt, die Neigung der Ebene A B C D $= 120° - \beta$. In T treffe der Lichtstrahl S T die erstere, und es sey durch T die Ebene b f c senkrecht auf die Seitenflächen gelegt; in dieser Ebene b f c sey T N horizontal gezogen, dagegen sey S T L $= \alpha$ die Sonnenhöhe, und der horizontale Winkel N T L $= \varphi$ gebe die Azimuthallage der Ebene b c f in Vergleichung gegen das Azimuth der Sonne an. Jeder Punct S des Strahles ist durch die drei Coordinaten T v $=$ x, v u $=$ x. Tang. $\varphi$, u s $=$ x Sec. $\varphi$ Tang. $\alpha$, bestimmt, und wenn man s s' senkrecht auf die Ebene b c f zieht, so ist T s' die Projection des Strahles auf diese Ebene und es ist

$$\text{Tang. } s' T v = \text{Sec. } \varphi \text{ Tang. } \alpha;$$

$$s' T f = \beta + s' T v,$$

$$\text{Sin. } s' T v = \frac{\text{Sin. } \alpha}{\sqrt{(\text{Sin.}^2 \alpha + \text{Cos.}^2 \varphi \text{ Cos.}^2 \alpha)}}$$

$$\text{Cos. } s' T v = \frac{\text{Cos. } \alpha \text{ Cos. } \varphi}{\sqrt{(\text{Sin.}^2 \alpha + \text{Cos.}^2 \alpha \text{ Cos.}^2 \varphi)}}$$

$$\text{Sin. } s' T f = \frac{\text{Sin. } \beta \text{ Cos. } \alpha \text{ Cos. } \varphi + \text{Cos. } \beta \text{ Sin. } \alpha}{\sqrt{(\text{Sin.}^2 \alpha + \text{Cos.}^2 \alpha \text{ Cos.}^2 \varphi)}}$$

$$\text{Cos. } s' T f = \frac{\text{Cos. } \beta \text{ Cos. } \alpha \text{ Cos. } \varphi - \text{Sin. } \beta \text{ Sin. } \alpha}{\sqrt{(\text{Sin.}^2 \alpha + \text{Cos.}^2 \alpha \text{ Cos.}^2 \varphi)}}$$

Ferner ist

$$\text{Tang. } s' T s = \frac{s' s''}{T s'} = \frac{v u}{T s'}$$

$$= \frac{\text{Tang. } \varphi}{\sqrt{(1 + \text{Sec.}^2 \varphi \text{ Tang.}^2 \alpha)}}$$

$$= \frac{\text{Sin. } \varphi \text{ Cos. } \alpha}{\sqrt{(\text{Cos.}^2 \varphi \text{ Cos.}^2 \alpha + \text{Sin.}^2 \alpha)}}$$

$$\text{Cos. } s' T s = \sqrt{(\text{Sin.}^2 \alpha + \text{Cos.}^2 \alpha \text{ Cos.}^2 \varphi)}$$

Das Einfallsloth liegt in eben dieser Ebene b f c und ist auf b f senkrecht; der Winkel, den s′ T mit demselben macht, ist also $= 90° - f T s'$, und wenn ich dieses Einfallsloth mit T p bezeichne, so ist

$$\text{Cos. } S T p = \text{Cos. } p T s' . \text{Cos. } s T s'$$

$$= \text{Sin. } \beta \text{ Cos. } \alpha \text{ Cos. } \varphi + \text{Cos. } \beta \text{ Sin. } \alpha.$$

Dieser Winkel mag $\omega$ heiſsen, und es ist bekannt, daſs für den gebrochenen Strahl T t,
$\text{Sin. } t T p' = \text{m. Sin. } \omega$. Da der gebrochene Strahl in der Ebene T p s bleibt, deren Neigung $= i$ gegen b f c aus dem vorigen gefunden wird, so läſst sich die Projection des gebrochenen Strahles auf b f c und die Neigung des gebrochenen Strahles gegen diese Projection angeben. Es ist nämlich

$$\text{Sin. } i = \text{Sin. } S T p s' = \frac{\text{Sin. } s' T s}{\text{Sin. } S T p} = \frac{\text{Sin. } \varphi \text{ Cos. } \alpha}{\text{Sin. } \omega}$$

und eben so gut auch

$$\text{Sin. } i = \frac{\text{Sin. } t T t'}{\text{Sin. } t T p'} = \frac{\text{Sin. } t T t'}{\text{m. Sin. } \omega},$$

also $\text{Sin. } t T t' = \text{m. Sin. } \varphi \text{ Cos. } \alpha = \text{m. Sin. } s' T s.$

$$\text{ferner Cos. } t' T p' = \frac{\text{Cos. } t T p'}{\text{Cos. } t T t'}$$

$$= \frac{\sqrt{(1 - m^2 . \text{Sin.}^2 \omega)}}{\sqrt{(1 - m^2 . \text{Cos.}^2 \alpha \,\text{Sin.}^2 \varphi)}}$$

$$\text{Sin. } t'Tp' = \frac{m \sqrt{(\text{Sin.}^2 \omega - \text{Cos.}^2 \alpha \,\text{Sin}^2 \varphi)}}{\sqrt{(1 - m^2 \,\text{Cos.}^2 \alpha \,\text{Sin.}^2 \varphi)}}$$

$$\text{oder Sin. } t'Tp' = \frac{m (\text{Cos. } \alpha \,\text{Cos. } \beta \,\text{Cos. } \varphi - \text{Sin. } \alpha \,\text{Sin. } \beta)}{\sqrt{(1 - m^2 \,\text{Cos.}^2 \alpha \,\text{Sin.}^2 \varphi)}}$$

Da für den hier zu betrachtenden Fall eines Minimum der Brechung gewiſs t′T mit cf parallel seyn muſs, so ist Sin. t′Tp′ = Sin. 30° = ½ und $\varphi$ wird durch die Gleichung

$$\tfrac{1}{4} = \frac{m^2 (\text{Cos. } \alpha \,\text{Cos. } \beta \,\text{Cos. } \varphi - \text{Sin. } \alpha \,\text{Sin. } \beta)^2}{1 - m^2 \,\text{Cos.}^2 \alpha \,\text{Sin.}^2 \varphi}$$

gefunden, also

$$1 - m^2 \,\text{Cos.}^2 \alpha \,\text{Sin.}^2 \varphi = 4 m^2 \,\text{Cos.}^2 \alpha \,\text{Cos.}^2 \beta \,\text{Cos.}^2 \varphi$$
$$- 8 m^2 \,\text{Sin. } \alpha \,\text{Cos. } \alpha \,\text{Sin. } \beta \,\text{Cos. } \beta \,\text{Cos. } \varphi + 4 m^2 \,\text{Sin.}^2 \alpha \,\text{Sin.}^2 \beta;$$

$$1 - m^2 \,\text{Cos.}^2 \alpha - 4 m^2 \,\text{Sin.}^2 \alpha \,\text{Sin.}^2 \beta$$
$$= m^2 \,\text{Cos.}^2 \varphi \,(4 \,\text{Cos.}^2 \beta - 1) \,\text{Cos.}^2 \alpha$$
$$- 8 m^2 \,\text{Cos. } \varphi \,\text{Sin. } \alpha \,\text{Cos. } \alpha \,\text{Sin. } \beta \,\text{Cos. } \beta.$$

Hiedurch ist $\varphi$ eine gegebene Gröſse, die bei gegebener Sonnenhöhe für jeden Werth von $\beta$ einen andern Werth erhält. Aber durch eben diese Ausdrücke, die hier Sin. t′Tp′ und Cos. bTt′ bestimmten, wird auch Cos bt′T gefunden, wenn $\alpha'$ die Neigung des ausfahrenden Strahles gegen den Horizont, $\varphi'$ den Azimuthalwinkel bedeutet, den der ausfahrende Strahl mit der Ebene bfc macht; statt $\beta$ muſs aber dann $\beta' = 120° - \beta$ gesetzt werden, weil dies die Neigung der zweiten Ebene ist. Man hat also

$$\text{Cos. } bt'T = \frac{m (\text{Cos. } \alpha' \,\text{Cos. } \beta' \,\text{Cos. } \varphi' - \text{Sin. } \alpha' \,\text{Sin. } \beta')}{\sqrt{(1 - m^2 \,\text{Cos.}^2 \alpha' \,\text{Sin.}^2 \varphi')}},$$

und Sin. tTt′ = m Sin. $\varphi'$ Cos. $\alpha'$; da dieses = m Sin. $\varphi$. Cos. $\alpha$ seyn muſs, so ist

$$\text{Cos. } \alpha' = \frac{\text{Sin. } \varphi \,\text{Cos. } \alpha}{\text{Sin. } \varphi'}$$

und der Nenner in Cos. bt′T ist genau dem in Sin. t′Tp′ gleich, also

$$\text{Cos. } \alpha \,\text{Cos. } \beta \,\text{Cos. } \varphi - \text{Sin. } \alpha \,\text{Sin. } \beta$$
$$= \text{Cos. } \alpha' \,\text{Cos. } \beta' \,\text{Cos. } \varphi' - \text{Sin. } \alpha' \,\text{Sin. } \beta'$$

woraus $\alpha'$ und $\varphi'$ gefunden werden.

Um hier nur einige Beispiele zu geben, sey erstlich $\alpha = 0$, oder die Sonne im Horizonte; dann gehören folgende Zahlen zusammen:

Digitized by Google

| β | | φ | | α′ | | φ′ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 49° | 5′ | 0° | 0′ | 21° | 50′ | 0° | 0′ |
| 48 | 0 | 17 | 55 | 22 | 37 | 19 | 23 |
| 46 | 0 | 28 | 40 | 24 | 20 | 31 | 46 |
| 43 | 0 | 37 | 34 | 26 | 20 | 42 | 52 |
| 40 | 0 | 43 | 12 | 27 | 56 | 50 | 47 |
| 30 | 0 | 53 | 15 | 31 | 13 | 69 | 33 |

Es zeigt ſich alſo ein den Ring oben berührender Bogen, der aber kein horizontaler Kreis iſt, ſondern in den Azimuthal-Abſtänden $\varphi' - \varphi$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| = | 1° 28′; | | 0° 47′ | | höher, |
| = | 3 | 6 | 2 | 30 | höher, |
| = | 5 | 18 | 4 | 30 | höher, |
| = | 7 | 35 | 6 | 6 | höher, |
| = | 16 | 18 | 9 | 23 | höher liegt, |

in dieſem Abſtande aber wegen der groſsen Werthe von $\varphi$ ſchon ſehr matt werden muſs.

Es ſey zweitens $\alpha = 30°$, ſo ergeben ſich folgende Zahlen.

| β | | φ | | α′ | | φ′ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 19° | 5′ | 0° | 0′ | 51° | 50′ | 0° | 0′ |
| 17 | 0 | 18 | 6 | 51 | 40 | 25 | 48 |
| 15 | 0 | 24 | 57 | 51 | 44 | 36 | 9 |
| 13 | 0 | 30 | 1 | 51 | 29 | 44 | 6 |
| 10 | 0 | 35 | 56 | 51 | 7 | 53 | 26 |
| 5 | 0 | 43 | 22 | 49 | 41 | 66 | 50 |
| 0 | 0 | 49 | 4 | 47 | 51 | 77 | 9 |

Der Bogen iſt hier alſo beinahe horizontal, indem ſeine Höhe in 17½ Gr. Azimuthal-Abſtand ſich erſt um 43′ geändert hat.

Es ſey drittens $\alpha = 50°$.

| β | | φ | | α′ | | φ′ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — 0° | 55′ | 0° | 0′ | 71° | 50′ | 0° | 0′ |
| — 3 | 0 | 19 | 21 | 70 | 12 | 38 | 58 |
| — 7 | 0 | 32 | 25 | 67 | 17 | 63 | 16 |
| — 10 | 0 | 39 | 21 | 65 | 1 | 74 | 47 |

In dieſem dritten Falle liegt alſo, wenn man den Berührungsbogen als einen ungefähren Kreisbogen betrachtet, der Mittelpunct jenes Bogens ziemlich weit jenſeits des Zeniths.

Für den am untern Puncte berührenden Bogen muſs man faſt ganz genau eben ſo rechnen, nur wird jetzt ſtatt



Digitized by Google

$s'Tf$; $s'Tb = \beta - s'Tv$ vorkommen. Als Beispiel habe ich für die Sonnenhöhe $\alpha = 30°$ gerechnet, und finde:

$$\alpha = 30°$$

| $\beta$ | | $\varphi$ | | $\alpha'$ | | $\varphi'$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100° | 55′ | 0° | 0′ | 8° | 10′ | 0° | 0′ |
| 100 | 0 | 25 | 15 | 6 | 55 | 21 | 51 |
| 99 | 0 | 36 | 4 | 5 | 33 | 30 | 49 |
| 97 | 0 | 50 | 29 | 2 | 58 | 41 | 59 |

Dagegen für $\alpha = 35°$ werden folgende Werthe statt finden:

| $\beta$ | | $\varphi$ | | $\alpha'$ | | $\varphi'$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 84° | 5′ | 0° | 0′ | 13° | 10′ | 0° | 0′ |
| 85 | 0 | 21 | 16 | 12 | 28 | 17 | 43 |
| 86 | 0 | 30 | 19 | 11 | 46 | 24 | 59 |
| 90 | 0 | 50 | 33 | 9 | 40 | 39 | 55 |
| 95 | 0 | 64 | 18 | 7 | 52 | 48 | 9 |
| 100 | 0 | 73 | 26 | 7 | 20 | 52 | 20 |

Bei 30 Grad Sonnenhöhe zeigt sich dieser Bogen also sehr einem Kreisbogen ähnlich, indem in dem Azimuthal-Abstande = 3° 24′ der Bogen um 1° 15′; in dem Abstande = 8° 30′ der Bogen um 5° 12′ herabgegangen, also nach oben convex ist; — eigentlich nicht ganz so viel, als ein Kreisbogen es seyn würde. Aber bei gröſseren Sonnenhöhen müſste, wie die Rechnung zeigt, die Abweichung vom Kreisbogen gegen die Enden hin merklicher werden, und man sollte wohl den im höchsten Puncte nach oben convexen Bogen weiterhin eine entgegengesetzte Krümmung zeigend wahrnehmen. Bei 35° Höhe gehören zusammen:

| Azimuthal-Abstand vom höchsten Puncte. | | Unterschied der Höhe. | |
|---|---|---|---|
| 3° | 33′ | 0° | 42′ |
| 5 | 20 | 1 | 24 |
| 10 | 38 | 3 | 30 |
| 16 | 9 | 5 | 18 |
| 21 | 6 | 5 | 50 |

Bis zu 10 oder 15 Graden Azimuthal-Abstand bemerkt man diese Hinneigung zu einer entgegengesetzten Krümmung noch nicht sehr; es wäre also näher zu untersuchen, ob die Beobachtungen bei gröſserer Sonnenhöhe eine solche Krümmung andeuten. Sehr glänzend muſs der unten angefügte convexe Bogen seyn, besonders da, wo er sich an den Ring anschlieſst; denn

Digitized by Google

wenn ich 30° Sonnenhöhe annehme, und die Strahlen betrachte, welche die Prismen treffen, bei denen $\varphi = 0$ bis 25 Grade ist, so vereinigen diese im untern Bogen ihr Licht auf einem Bogen von $3\frac{1}{2}$ Graden, im obern Bogen auf einem Bogen von 11 Graden. Dieses stimmt mit Lowitz, der diesen Bogen sehr glänzend nennt, zusammen; aber sein gezeichneter Kreisbogen dürfte, wenn die Rechnung richtig ist, nicht ganz so tief sich herab erstrecken. — Künftige Beobachtungen werden also hier erst genauere Bestimmungen ergeben müssen.

Eben diese Erklärung müssen wir nun auch auf die Berührungskreise des zweiten Ringes anzuwenden suchen. Wenn hier der Strahl nicht mehr soll hervorgehen können, so müſste der auf $\alpha'$ und $\beta'$ angewandte Ausdruck für Sin. STp gröſser als 1 seyn, und es muſs also für die Grenze, $\text{Sin.}\,\beta' \,\text{Cos.}\,\alpha' \,\text{Cos.}\,\varphi' = \text{Sin.}\,\alpha' \,\text{Cos.}\,\beta'$ seyn, indem ich $\alpha'$ aus leicht erhellenden Gründen negativ erhalte, wie es auch bei dem obigen Zahlenbeispiele sich ergab. Das gäbe

$$\text{Cos.}\,\varphi' = \text{Tang.}\,\alpha' \,\text{Cos.}\,\beta'$$

und da auch hier $\text{Sin.}\,\varphi' = \dfrac{\text{Sin.}\,\varphi \,\text{Cos.}\,\alpha}{\text{Cos.}\,\alpha'}$ ist,

und ferner $b\,t'\,T = 120° - b\,T\,t' = 30° + p'\,T\,t'$,

so ist $m\,(\text{Cos.}\,\alpha' \,\text{Cos.}\,\beta' \,\text{Cos.}\,\varphi' + \text{Sin.}\,\alpha' \,\text{Sin.}\,\beta')$

$= \text{Cos.}\,30° \,\text{Cos.}\,p'Tt' - \text{Sin.}\,30° \,\text{Sin.}\,p'Tt'$,

oder $\text{Cos.}\,\alpha' \,\text{Cos.}\,\beta' \,\text{Cos.}\,\varphi' + \text{Sin.}\,\alpha' \,\text{Sin.}\,\beta'$

$$= \text{Cos.}\,30° \sqrt{\left(\frac{1}{m^2} - 1 + (\text{Cos.}\,\alpha \,\text{Sin.}\,\beta \,\text{Cos.}\,\varphi + \text{Sin.}\,\alpha \,\text{Cos.}\,\beta)^2\right)}$$
$$- \text{Sin.}\,30° \,(\text{Cos.}\,\alpha \,\text{Cos.}\,\beta \,\text{Cos.}\,\varphi - \text{Sin.}\,\alpha \,\text{Sin.}\,\beta)$$

wo der erste Theil durch den Werth von $\text{Cos.}\,\varphi'$ in $\text{Sin.}\,\alpha' \,\text{Cosec.}\,\beta'$ übergeht; aus diesen drei Gleichungen müſsten bei gegebenem $\alpha$ und $\beta$, die Gröſsen $\alpha'$, $\varphi$, $\varphi'$ gefunden werden.

Soll $\varphi' = 0$ und $\varphi = 0$ seyn, so ist $\alpha' = \beta'$, wie es auch ganz richtig ist, und die letzte Gleichung giebt dann

$$m.\,\text{Cos.}\,(\alpha' - \beta') = \text{Cos.}\,30° \sqrt{(1 - m^2 \,\text{Cos.}^2\,(\alpha + \beta))}$$
$$- m \,\text{Sin.}\,30° \,\text{Cos.}\,(\alpha + \beta).$$

Da in diesem Falle $\alpha + \beta$ der Winkel des einfallenden Strahls mit der Seitenfläche ist, so hat man, wenn $\sigma$ den Winkel des gebrochenen Strahls mit der Seitenfläche bezeichnet, $\text{Cos.}\,\sigma = m.\,\text{Cos.}\,(\alpha + \beta)$ und $m = \text{Cos.}\,30° \,\text{Sin.}\,\sigma - \text{Sin.}\,30° \,\text{Cos.}\,\sigma = \text{Sin.}\,(\sigma - 30°)$ oder $m = \text{Cos.}\,(120° - \sigma)$, wie es da der

zum zweitenmale gebrochene Strahl in der Seitenfläche liegen soll, ganz richtig ist.

Um nun den so entstehenden Bogen in einigen Fällen kennen zu lernen, sey $\alpha = 0$, so gehören folgende Werthe zusammen:

| $\beta$ | $\varphi$ | $\alpha'$ | $\varphi'$ |
|---|---|---|---|
| 76° 32′ | 0° 0′ | 43° 28′ | 0° 0′ |
| 75 55 | 10 0 | 43 18 | 13 47 |
| 73 50 | 20 0 | 42 40 | 27 43 |
| 69 44 | 30 0 | 41 45 | 42 5 |
| 62 49 | 40 0 | 40 4 | 57 8 |

Der Bogen ist also nicht ganz horizontal, sondern geht auf 17 Gr. Azimuth um 3° 24′ herabwärts; man wird den Bogen also als einen Kreisbogen ansehen, dessen Mittelpunct etwas jenseits des Zeniths liegt.

Es sey zweitens $\alpha = 30°$.

| $\beta$ | $\varphi$ | $\alpha'$ | $\varphi'$ |
|---|---|---|---|
| 46° 32′ | 0° 0′ | 73° 28′ | 0° 0′ |
| 46 8 | 4 0 | 73 25 | 12 17 |
| 45 50 | 10 0 | 72 0 | 29 8 |
| 42 55 | 20 0 | 68 35 | 54 12 |
| 37 20 | 30 0 | 63 12 | 73 50 |

Dieser Bogen ist der horizontalen Richtung näher als der vorige, indem er auf 19 Gr. Azimuth nur $1\frac{1}{2}$ Gr. herabwärts geht.

Bei dem zweiten Ringe, der die Sonne concentrisch umgiebt, fanden wir, daſs er aus den vereinigten Strahlen entstände, die theils der Grenze der Brechung, theils einer zweimaligen, dem Minimum gemäſsen Brechung entspräche, und etwas Aehnliches müſste auch hier statt finden, da der berührende Bogen eben die Farben, wie jener Ring, zeigt; aber hier bietet sich eine Schwierigkeit dar, indem die Lichtstrahlen bei der zweiten Brechung mehr zerstreut werden, als es bei jenem Ringe der Fall war. Treffen nämlich, um ein Beispiel anzuführen, die Sonnenstrahlen bei 30 Grad Sonnenhöhe auf ein Prisma, dessen Lage durch $\beta = 15°$ und $\varphi = 25°$ gegeben ist, so gehen die wirksamen Strahlen so fort, daſs $\alpha' = 51° 44'$, $\varphi' = 36° 9'$ ist, und wenn diese Strahlen auf Prismen treffen, die senkrecht gegen den Lichtstrahl liegen, und für die $\beta = -2° 45'$ ist, so bleibt der dem Minimum der Brechung entsprechende Strahl in eben der Vertical-Ebene und

Digitized by Google

kommt aus einer scheinbaren Höhe $= 51° 50' + 21° 50' = 73° 40'$ zum Auge; aber bei anderer Lage, bei einem andern Werthe von $\varphi$, giebt es ebenfalls einen dem Minimum entsprechenden Werth von $\beta$, welchem dann eine in Azimuth und Höhe andere Lage des zweimal gebrochenen Strahls entspricht, und so entsteht eine Zerstreuung, die freilich auch bei dem zweiten Ringe, jedoch nicht ganz so stark, statt findet. Die Vereinigung dieser wirksamen Strahlen nach zwei Brechungen mit jenen vorhin berechneten letzten hervorgehenden Strahlen kann daher nur unter gewissen Umständen statt finden. Unter den Prismen, die von dem schon gebrochenen Strahle getroffen werden, sind gewiſs eben so viele, die $\varphi = 0$, als die $\varphi = 10°, \varphi = 20°$ und so ferner, geben; aber alle von $\varphi = 0$ bis $\varphi = 20°$ geben der Richtung des auffallenden Strahles einen gleichen Höhenwinkel und keine groſse Aenderung des Azimuthalwinkels; diese Prismen kommen also vorzugsweise in Betrachtung, und obgleich der von $51° 44'$ Höhe kommende Strahl auch durch andere Prismen so gebrochen werden kann, daſs er als ein wirksamer Strahl anzusehen wäre, wenn diese Prismen allein da wären, so ist doch für $\varphi = 0$ bis $\varphi = 10°$ die Lichtstärke viel auffallender als bei andern Werthen. Hiernach, scheint es mir, kann man annehmen, daſs die dem ersten Berührungsbogen entsprechenden Strahlen nach abermaliger Brechung einen um $21° 50'$ oberhalb jenem liegenden zweiten Bogen darstellen könnte, und das gäbe folgende Vergleichung, wenn ich hier die vorhin berechneten Höhen im zweiten Bogen mit $\alpha''$, das Azimuth mit $\varphi'' - \varphi$ bezeichne, und die der jetzigen Betrachtung entsprechenden $= \alpha'''$ und $= \varphi''' - \varphi = \varphi' - \varphi$ setze:

Für $\alpha = 0°$

| $\varphi$ | $\alpha'$ | $\varphi'-\varphi$ | $\alpha''$ | $\varphi''-\varphi$ | $\alpha'''$ | $\varphi'''-\varphi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° 0' | 21° 50' | 0° 0' | 43° 28' | 0° 0' | 43° 40' | 0° 0' |
| 10 0 | . . . . | . . . . | 43 18 | 3 47 | | |
| 17 55 | 22 37 | 1 28 | . . . . | . . . . | 44 27 | 1 28 |
| 20 0 | . . . . | . . . . | 42 40 | 7 43 | | |
| 28 40 | 24 20 | 3 6 | . . . . | . . . . | 46 10 | 3 6 |
| 30 0 | . . . . | . . . . | 41 45 | 12 5 | | |
| 37 34 | 26 20 | 5 18 | . . . . | . . . . | 48 10 | 5 18 |
| 40 0 | . . . . | . . . . | 40 4 | 17 8 | | |
| 43 12 | 27 56 | 7 35 | | | | |
| 53 15 | 31 13 | 16 18 | | | | |

Digitized by Google

Hier fände also kein Zusammentreffen statt, und bei so niedriger Stellung der Sonne könnten beide Erscheinungen sich nicht gegenseitig verstärken.

Für $\alpha = 30°$ ist es anders:

| $\varphi$ | $\alpha'$ | $\varphi' - \varphi$ | $\alpha''$ | $\varphi'' - \varphi$ | $\alpha'''$ | $\varphi''' - \varphi$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0° 0′ | 51° 50′ | 0° 0′ | 73° 28′ | 0° 0′ | 73° 40′ | 0° 0′ |
| 4 0 | . . . . . . | . . . | 73 25 | 8 17 | | |
| 10 0 | . . . . . . | . . . | 72 0 | 19 8 | | |
| 18 6 | 51 50 | 7 43 | . . . . . . | . . . | 73 40 | 7 43 |
| 20 0 | . . . . . . | . . . . . | 68 35 | 34 12 | | |
| 24 57 | 51 44 | 11 12 | . . . . . . | . . . | 73 34 | 11 12 |
| 30 1 | 51 29 | 14 5 | . . . . . . | . . . | 73 19 | 14 5 |
| 35 56 | 51 7 | 17 30 | . . . . . . | . . . | 72 57 | 17 30 |

Für gleiche Azimuthe $\varphi'' - \varphi = \varphi''' - \varphi$ findet man hier folgendes.

| $\varphi'' - \varphi$ | $\alpha''$ | $\alpha'''$ |
|---|---|---|
| 0 0 | 73° 28′ | 73° 40′. |
| 8 0 | 73 25 | 73 40 |
| 11 0 | 73 0 | 73 34 |
| 14 0 | 72 40 | 73 19 |
| 17 30 | 72 12 | 72 57 |

Also ein viel näheres Zusammentreffen, das vielleicht bei etwas veränderter Sonnenhöhe noch genauer wird.

Es sey mir jetzt erlaubt, noch etwas über die übrigen Berührungsbogen zu sagen. Ich erinnere mich keiner Beobachtung, wo am innern Ringe an andern Stellen solche Bogen angegeben wären; aber ich vermuthe, daſs die von Lowitz beobachteten, in Fig. 103. mit xi, yk bezeichneten Bogen solche Berührungsbogen waren, und daſs die Nebensonnen x, y, verschwanden, als bei höherem Steigen der Sonne diese Kreise nicht mehr den Horizontalkreis berührten. Daſs die den zweiten Ring berührenden Kreise tt, vv gerade da zu berühren scheinen, wo der Bogen zw = 120° ist, habe ich schon oben bemerkt, und gezeigt, daſs, wie auch diese Berührungskreise erklärt werden mögen, wohl gewiſs eben die Erklärung, welche für die oben betrachteten Berührungsbogen statt findet, auch hier anwendbar seyn würde, nämlich mit Hülfe der Eisnadeln, die 60 Gr. gegen die vorigen geneigt sind. Es würde hier eine eben solche Berechnung der Form dieser Bogen zu führen seyn wie vorhin, und sowohl die Lowitz'sche, als auch die Nor-

wegische Beobachtung könnte zur Vergleichung mit der Theorie dienen.

Ich muſs hier, um nicht allzu weitläuftig zu werden, die Untersuchung abbrechen, und bemerke nur, daſs Beobachtungen, bei denen möglichst genaue Messungen angestellt wären, erforderlich sind, um die Richtigkeit der bisher erörterten Theorie zu prüfen; da aber das Phänomen bei jeder veränderten Sonnenhöhe ein anderes wird, so müſste man die Zeiten, wo die einzelnen Messungen statt fanden, zugleich mit angeben, und könnte dann Messungen in Rechnung ziehen, die auch nicht bei gleicher Sonnenhöhe angestellt sind.

Einige andere beobachtete Erscheinungen will ich nun noch anführen und zum Theil zu erklären suchen.

Nach Aepinus Erzählung[1] sieht man nicht ganz selten einen schwachen elliptischen Bogen b d c, der den ersten kreisförmigen Ring i d k umgiebt. Der mondförmige Raum zwischen beiden ist heller als der innerhalb des Kreises liegende, und auch hier ist der elliptische, gewöhnlich sehr matte Ring, innen roth, auſsen bläulich weiſs. Aehnliche Erscheinungen sind auch von andern gesehen[2]. An diese Beobachtungen schlieſsen sich die Erscheinungen an, wo ein zweifacher oder dreifacher Kreis statt des gewöhnlichen einfachen ersten Ringes gesehen ist[3]. Fig. 103.

Wären diese ganzen Kreise (deren Schult einen um die Sonne als Centrum, einen, dessen Centrum etwas rechts, einen, dessen Centrum etwas links von der Sonne lag, beobachtete), nicht gesehen worden, so würde man diese Ellipse auf folgende Weise erklären. Wir haben gesehen, daſs verticale Nadeln bei hohem Sonnenstande eine Nebensonne auſserhalb des kreisförmigen Ringes, horizontal neben der Sonne, hervorbringen; wären also Nadeln etwas von der verticalen Stellung abweichend in hinreichender Anzahl vorhanden, so würden diese auch Nebensonnen, an jene angereihet, hervorbringen, und wenn man so die schief stehenden Nadeln, allmälig immer mehr von der

---

1 Nov. comm. Petrop. VIII. 392.

2 Ph. Tr. I. 219. Nov. Comm. Petrop. X. 375. Ph. Tr. 1761. 3. Act. Erud. I. 308. Hugen. p. 348. Edinb. Journ. of Science IX. 89. und XIII. 113.

3 Aepinus führt eine solche von Scheiner angestellte Beobachtung an. Daſs Lowitz und Schult solche Kreise sahen, habe ich schon erwähnt.

Verticallinie abweichend, annimmt, so erhält man einen elliptischen Ring, in dessen Durchschnitte mit dem Horizontalkreise die lebhaftern Nebensonnen stehen, weil ohne Zweifel der verticalen Nadeln mehrere, als der übrigen, vorhanden sind.

Auf diese Weise mögen in manchen Fällen diese Ellipsen entstehen, und diese Erklärung scheint mir genügender, als die von Venturi, welcher horizontale Prismen dabei voraussetzt, jedoch keine strenge Untersuchung über den Weg des Lichtes in horizontalen Prismen anstellt. Aber auch noch auf eine zweite Weise kann ein solcher elliptischer Ring entstehen. Gesetzt der Horizontalkreis wäre in der Nähe der Sonne so glänzend, daſs er selbst wieder um jeden seiner Puncte einen ersten Hof zeigen könnte, so würden diese vereinigten Höfe nur einen hellen Raum, begrenzt an der Stelle, die 22 Grade von dem Ende jenes leuchtenden Bogens ab läge, darstellen, so wie Fraunhofer es sich zur Erklärung der Berührungskreise dachte. Wäre nur *eine* sehr glänzende Wolke oder ein sehr heller Theil des Horizontalkreises an jeder Seite der Sonne, so entständen zwei excentrische Kreisringe, so wie Schult sie beobachtete. Es bleibt dabei nur auffallend, daſs sie genau symmetrisch an beiden Seiten der Sonne liegen [1].

Eine andere Abweichung von der gewöhnlichen Anordnung des Phänomens besteht darin, daſs zuweilen, aber doch sehr selten, der Halbmesser des ersten Ringes kleiner als 22 Grade ist. Musschenbroek behauptet, daſs am 23. Febr. 1734 ein solcher Ring anfangs 23 Gr. Halbmesser gehabt und nach $1^h25'$ sich bis auf $18\frac{1}{2}$ Gr. verkleinert habe [2].

Solche Kreise, deren Halbmesser andere als die gewöhnlichen Abmessungen hatte, sah auch Rever in Pont-Audemer. Es erschienen drei Cirkel, welche die Sonne zum Mittelpuncte hatten; der Durchmesser des kleinsten $= 35°$, des dritten $= 70°$. Ein vierter Kreis hatte sein Centrum im Umfange des ersten, sein Umfang ging durch die Sonne und berührte von innen den gröſsten der drei concentrischen Kreise. Durch den Berührungs-

1 Man hat zuweilen ganz nahe über und unter der Sonne Nebensonnen gesehen, die ich, als nicht zu unserm Phänomen gehörend, hier nicht näher betrachte: wenn solche Nebensonnen auch horizontal ihr zur Seite stehen können, so würde die Voraussetzung zweier solcher Nebensonnen diesen symmetrischen Stand erklären.

2 Mém. de Paris 1735. 87.

Digitized by Google

punct des vierten und dritten gingen zwei Halbkreise, die sich einander mit den convexen Seiten berührten, so daſs ihre Tangente gegen die Sonne gerichtet war; diese sowohl als der vierte waren farbig, die ersten drei dagegen weiſs[1]. — Dieses scheint also ein ganz andres Phänomen gewesen zu seyn[2].

Bei einigen sonst regelmäſsigen Erscheinungen von Nebensonnen haben sich noch mehrere Bogen als gewöhnlich gezeigt. Zum Beispiel sah Hansteen bei dem oft erwähnten schönen Phänomene am 27. März 1826 zwei Bogen, die sich, gegen die Sonne concav, von dem höchsten Puncte des innern Ringes innerhalb des dortigen Berührungsbogens bis an diesen erstreckten. Bei eben diesem Phänomene sah Schult zwischen den mit hr, hs bezeichneten Bogen noch durch h gehende Bogenstücken, und Hansteen glaubte ihre Verlängerung oberhalb h zu sehen. Fig. 103.

Als ganz anders angeordnet muſs man wohl das Phänomen ansehen[3], wo vier Kreise durch die Sonne gingen, und einer um die Sonne. Ebenso folgendes[4]: Es erschien erstlich der gewöhnliche erste Ring und in seinem obern Puncte eine helle Nebensonne; um diese, als Mittelpunct, ging ein zweiter Hof von doppelt so groſsem Durchmesser als der erste, in welchem, horizontal neben der ersten Nebensonne, zwei Nebensonnen, an jeder Seite eine, standen. Diese letztern waren wieder Mittelpuncte von zwei hellen Kreisen. — Dieser Erscheinung einigermaſsen ähnlich ist eine von Braun in einer Zeichnung dargestellte. Da jeder hinreichend helle Fleck am Himmel wieder einen Hof um sich geben kann, so ist eine solche Vervielfachung der Kreise nicht unmöglich aber diese Erscheinungen sind zu unvollkommen beschrieben, um eine Erklärung, wie sie entstanden seyn mögen, zu versuchen.

Ich schlieſse diesen Artikel mit dem Wunsche, daſs künftige Beobachter uns genaue Ausmessungen der Höfe und andern Kreise geben mögen, indem nur so die richtige Theorie entdeckt und die hier angegebene entweder bestätigt oder widerlegt werden kann. *B.*

1 Férussac bull. de math. 1827. Janv. p. 56.

2 Kleinere Ringe sind auch angegeben in Edinb. phil. Tr. Vol. IV. und von Braun in Nov. Comm. Petrop. VI. 425.

3 Sillimans american Journ. XI. 368.

4 Edinb. Journ. of science XIII. 113.

Digitized by Google

# Hohlspiegel.

*Speculum concavum.* Miroir concave. *Concave Mirror.*

Unter diesem Namen sind alle die Spiegel begriffen, deren krumme Oberfläche dem Gegenstande und folglich auch dem Beobachter die hohle Seite zukehrt. Der parabolische und der sphärische Spiegel kommen vorzüglich im wirklichen Gebrauche vor[1].

Der parabolische Hohlspiegel. *Speculum parabolicum*, Miroir parabolique; *Parabolical Mirror.* Seine Form ist die eines parabolischen Konoids, oder sie stimmt mit derjenigen krummen Fläche überein, welche durch Umdrehung einer Parabel um ihre Hauptaxe entstehen würde. Diese Axe heiſst daher auch die Axe des Spiegels, und alle durch sie gelegte Ebenen bilden mit dem Spiegel parabolische Querschnitte, die einander vollkommen gleich sind.

Wenn auf diesen Spiegel Strahlen mit der Axe parallel auffallen, so werden sie alle genau in einem einzigen, in der Axe des Spiegels liegenden, Puncte vereinigt, welcher der *Brennpunct* der Parabel heiſst. Die Parabel hat nämlich die Eigenschaft, daſs, wenn man von einem Puncte in ihr eine Linie gegen den Brennpunct zu und eine mit der Hauptaxe parallel zieht, diese beiden Linien gleiche Winkel mit der Tangente machen; da nun jeder auf den Hohlspiegel auffallende Strahl so zurückgeworfen wird, daſs der zurückgeworfene Strahl eben den Winkel mit der Tangente einschlieſst, wie der einfallende Strahl, so wird jeder mit der Axe parallel einfallende Strahl in den Brennpunct zurückgeworfen. Diese Strahlen bringen also hier ein ganz vollkommnes Bild desjenigen Punctes hervor, welcher in der Axe und zugleich sehr entfernt liegt.

Um von minder entfernten Puncten ein Bild zu erhalten, bedient man sich nicht gerade des parabolischen Spiegels; ich stelle daher darüber keine Untersuchung an. Dagegen ist die Frage wichtiger, ob denn der parabolische Spiegel auch Strah-

1 Eine Anwendung des elliptischen Spiegels kommt im Art. *Mikroskop* vor.

Digitized by Google

len, welche zwar unter sich parallel einfallen, aber mit der Axe einen kleinen Winkel machen, gut zu einem Bilde vereinige; denn da wir bei Beobachtungen entfernter Gegenstände doch nicht allein den Punct, welcher genau in der Axe liegt, sondern auch die benachbarten Puncte deutlich zu sehen verlangen, so kommt es auf diese Untersuchung allerdings an.

Es sey DP ein solcher Strahl, der unter dem Winkel $= \alpha$ Fig. 114.
gegen die Axe geneigt einfällt, und UZ sey derjenige mit ihm parallele Strahl, welcher die Parabel in Z senkrecht trifft, also in sich selbst reflectirt wird, dann können wir die Durchschnittspuncte suchen, welche die übrigen zurückgeworfenen Strahlen mit ZU bilden.

Da ZU die unter dem Winkel $= \alpha$ geneigte Normallinie der Parabel seyn soll, und bekanntlich, (wenn eines Punctes in der Parabel Abscisse $= x$, Ordinate $= z$ ist, und der Parameter $= p$) der Neigungswinkel $= \zeta$ der Normallinie gegen die Axe durch Tang. $\zeta = \frac{2z}{p}$ gegeben ist, so sind des Punctes Z Coordinaten, $z' = \frac{1}{2}$ p. Tang. $\alpha$; $x' = \frac{1}{4}$ p. Tang.$^2$ $\alpha$ und wenn man einen Punct der Linie UZ durch auf einander senkrechte Coordinaten u und v bestimmt, so ist $v = (x' + \frac{1}{2} p - u)$ Tang. $\alpha = (\frac{1}{2} p + \frac{1}{4} p$ Tang.$^2$ $\alpha - u)$ Tang. $\alpha$. Für jeden andern Strahl DP der mit UZ parallel einfällt, sey PR die dem Einfallspuncte zugehörige Normallinie, also Tang. PRQ $=$ Tang. $\zeta = \frac{2z}{p}$; dann wird der Winkel ASP, unter welchem der zurückgeworfene Strahl die Axe trifft, $= 2\zeta - \alpha$, $AS = x + SQ = x + z$ Cotang $(2\zeta - \alpha)$, also giebt die Gleichung für jeden Punct dieses Strahles $v' = (x + z$ Cotang $(2\zeta - \alpha) - u')$ Tang. $(2\zeta - \alpha)$ $=$ oder $v' = (x - u')$ Tang. $(2\zeta - \alpha) + z$, und dieser letztere Strahl schneidet den zuerst betrachteten da, wo $u' = u$, $v' = v$ ist.

Um diesen Durchschnittspunct für unsern Fall, wo $\alpha$ sowohl als $\zeta$, welches ich $= \xi\alpha$ nennen will, klein sind, hinreichend genau zu finden, setze ich Tang. $(2\zeta - \alpha) = (2\xi - 1)\alpha + \frac{1}{3}(2\xi - 1)^3\alpha^3$ und ebenso Tang. $\alpha = \alpha + \frac{1}{3}\alpha^3$. Dann geben die gleich gesetzten Werthe von $v = v'$, $\frac{1}{2} p\,(\alpha + \frac{1}{3}\alpha^3) + \frac{1}{4} p\alpha^3 - u\,(\alpha + \frac{1}{3}\alpha^3)$.

$$= \tfrac{1}{4} p\xi^2 (2\xi - 1)\alpha^3 - u\,((2\xi - 1)\alpha + \tfrac{1}{3}(2\xi - 1)^3\alpha^3) + \tfrac{1}{2} p\,(\xi\alpha + \tfrac{1}{3}\xi^3\alpha^3).$$

Digitized by Google

$$\text{also } u = \frac{\frac{1}{2}\,p\,(\xi-1)\,\alpha + (\frac{2}{3}\,\xi^3 - \frac{1}{4}\,\xi^2 - \frac{5}{12})\,p\alpha^3}{(2\xi-2)\,\alpha + \frac{1}{3}\,(2\xi-1)^3\,\alpha^3 - \frac{1}{3}\,\alpha^3}.$$

$$\text{oder } u = \tfrac{1}{4}\,p + \frac{(3\xi+1)}{8}\,p\alpha^2.$$

Für jeden Punct P also, für welchen die Normallinie den Winkel $=\xi\alpha$ mit der Axe einschlieſst, ist die Lage des Durchschnittspunctes mit dem mittlern Strahle durch

$$u = \tfrac{1}{4}\,p + \tfrac{1}{8}\,p\alpha^2 + \tfrac{3}{8}\,p\xi\alpha^2,$$

$$\text{und } v = (\tfrac{1}{2}\,p - u)\,(\alpha + \tfrac{1}{3}\,\alpha^3) + \tfrac{1}{4}\,p\alpha^3,$$

$$\text{oder } v = \tfrac{1}{4}\,p\alpha + (\tfrac{5}{24} - \tfrac{3}{8}\,\xi)\,p\alpha^3,$$

bestimmt. Der Vereinigungspunct für die unendlich nahe bei z einfallenden Strahlen ist also, weil dort $\xi = 1$ ist, durch

$$u'' = \tfrac{1}{4}\,p + \tfrac{1}{2}\,p\alpha^2,$$

$$v'' = \tfrac{1}{4}\,p\alpha - \tfrac{1}{6}\,p\alpha^3,$$

bestimmt. Die Abweichung von diesem Puncte ist es also, was eine Undeutlichkeit des Bildes hervorbringen kann, und diese ist für u, als Längen-Abweichung $= \frac{3}{8}\,(1-\xi)\,p\alpha^2$,

für v, als Seiten-Abweichung $= \frac{3}{8}\,(\xi-1)\,p\alpha^3$.

Beide sind folglich dem Abstande $= (\xi-1)\,\alpha$ von dem senkrecht auffallenden Strahle proportional, fallen aber bei der Kleinheit des $\alpha$ immer geringe aus.

Der **sphärische Hohlspiegel**; *Speculum sphaericum concavum;* Miroir sphérique; *Spherical Mirror*, ist ein Theil der hohlen Kugelfläche. Die Axe des Spiegels heiſst hier die durch die Mitte des Spiegels und der Kugel Mittelpunct gezogene gerade Linie, indem man den Spiegel als durch einen Kreis begrenzt annimmt, welcher dann ein auf diese Linie senkrechter Parallelkreis ist.

1. Wir wollen nun den Vereinigungspunct für Strahlen suchen, welche, von einem Puncte in der Axe ausgehend,
Fig. 115. vom Spiegel zurückgeworfen werden. Es sey CB der Halbmesser des Hohlspiegels $= r$; $CA = a$ der Abstand des leuchtenden Punctes vom Centro, und $BCD = \psi$ der Winkel, welcher den Punct des Auffallens bestimmt. Dann ist Tang. CDA

$$= \frac{a\,.\,\text{Sin.}\,\psi}{r + a\,\text{Cos.}\,\psi},$$ und da für den zurückgeworfenen Strahl DE,

$$EDC = ADC, \text{ so ist } CE = \frac{r.\text{Sin. CDA}}{\text{Sin.}\,(\psi + \text{CDA})} = \frac{a\,r}{r + 2\,a\,\text{Cos.}\,\psi}$$

Für Strahlen, welche sehr nahe an der Axe liegende Puncte treffen, ist $\psi$ sehr klein, also je kleiner $\psi$ ist, desto näher

$$CE = \frac{ar}{r + 2a}.$$

Dieser Ausdruck giebt die Stelle des Bildes. Es läſst sich nämlich zeigen, daſs wenn gleich die entfernteren Strahlen sich nicht genau hier vereinigen, dennoch die hier in einem sehr kleinen Raume vereinigten Strahlen so überwiegend sind, daſs sie ein Bild des leuchtenden Punctes geben, welches freilich dadurch, daſs die entfernteren Strahlen nicht strenge in denselben Punct kommen, ein wenig undeutlich wird. Auf diese Abweichung wegen der Gestalt des Spiegels komme ich nachher zurück.

2. Dieses Bild nimmt einen verschiedenen Platz ein, jenachdem der leuchtende Punct in der Axe eine andere Stelle erhält. 1. Wenn er ungemein entfernt, $a = \infty$ ist, oder die Strahlen parallel einfallen, so ist $CE = \frac{1}{2} r$, und dieses ist die *Brennweite* des Spiegels, wo nämlich die von unendlich entfernten Gegenständen her kommenden Strahlen, z. B. die Strahlen der Sonne, sich vereinigen. 2. Bleibt a positiv, oder liegt der leuchtende Punct noch jenseits des Mittelpunctes, so ist CE kleiner als $\frac{1}{2} r$, oder das Bild rückt gegen den Mittelpunct zu, je kleiner a wird. 3. Ist a negativ, das heiſst, liegt der leuchtende Punct zwischen dem Mittelpuncte und dem Spiegel, so wird CE negativ, und so lange a kleiner, als $\frac{1}{2} r$, ist, wird sich noch immer ein Punct jenseits des Mittelpuncts angeben lassen, wo die Strahlen sich sammeln. Offenbar liegt jetzt das Bild da, wo im zweiten Falle der Gegenstand sich befand, wenn jetzt der Gegenstand sich da befindet, wo im zweiten Falle das Bild hin fiel. 4. Für $a = -\frac{1}{2} r$ ist $CE = \infty$, das ist, die Lichtstrahlen, die aus dem Brennpuncte auffallen, werden parallel zurückgeworfen. 5. Ist $a = -\frac{r}{2} - b$, so giebt die Formel $CE = \frac{-\frac{1}{2} r^2 - br}{-2b} = \frac{1}{2} r + \frac{1}{4} \frac{r^2}{b}$, also das Bild hinter dem Spiegel, und zwar um desto entfernter, je kleiner b ist.

Wenn wir in den Hohlspiegel sehen, so zeigt sich uns dieses Bild der Gegenstände, und zwar sehen wir Bild und Gegenstand ganz nahe an einander, wenn der Gegenstand die Oberfläche des Spiegels berührt, oder $a = -r$ ist; zieht man den

Digitized by Google

Gegenstand vom Spiegel ein wenig zurück, so daſs b etwas kleiner als $\frac{1}{2}$ r wird, so scheint das Bild sich immer mehr hinter dem Spiegel von uns zu entfernen und wird dabei gröſser; im Brennpuncte gehalten, zeigt der Gegenstand, den wir als einen nur sehr kleinen Raum einnehmend ansehen müssen, kein Bild; und wenn er nur wenig vom Brennpuncte gegen den Mittelpunct zu geht, so sehen wir das hinter uns liegende Bild unsicher, ohne ihm einen festen Platz anweisen zu können, wie im Artikel *Bild* gezeigt ist. Rückt der Gegenstand dem Mittelpuncte so nahe, daſs $\frac{ar}{r+2a} + r$ kleiner ist, als der Abstand meines Auges vom Spiegel, so sehe ich deutlich ein vor dem Spiegel schwebendes Luftbild, welches sich dem Spiegel nähert, wenn der Gegenstand sich weiter vom Spiegel entfernt; kommt der Gegenstand im Mittelpuncte des Spiegels an, so trifft er mit dem Bilde zusammen und macht dadurch den Mittelpunct kenntlich. Hierauf beruht der Schein, als ob die Degenspitze im Bilde gegen uns zu gehe, wenn wir die wirkliche Degenspitze um die Gegend des Kugelmittelpunctes gegen den Spiegel zu bewegen. Die Gröſse des Bildes werde ich nachher bestimmen, und zugleich erwähnen, warum diese Bestimmung des Bildes nicht im strengsten Sinne ausreichend ist.

3. Für Strahlen, die nicht sehr nahe an der Axe einfallen, findet eine Abweichung von dem eigentlichen Puncte des Bildes statt. Da wir für solche Strahlen CE allgemein $= \frac{ar}{r + 2a\,\text{Cos.}\,\psi}$ fanden, so schneiden sie die Axe in einer Entfernung vom Bilde, die $= \frac{ar}{r + 2a\,\text{Cos.}\,\psi} - \frac{ar}{r+2a}$ ist, und dieses wäre die Abweichung nach der Länge, die für $a = \infty$ in $\frac{1}{4}$ r (Sec. $\psi - 1$) übergeht. Die Entfernung des Strahles von der Axe an der Stelle, wo er neben dem Bilde vorbei geht oder die Seiten-Abweichung ist dagegen $= ar \left\{\frac{1}{r + 2a\,\text{Cos.}\,\psi} - \frac{1}{r+2a}\right\}$ Tang. $(CDA + \psi)$ und sie geht für $a = \infty$ in $\frac{1}{4}$ r . Tang. 2 $\psi$ (Sec. $\psi - 1$) über. Da aber $\psi$ doch immer nicht sehr erheblich ist, so kann man die von $\psi$ abhängenden Glieder in Reihen entwickeln und erhält nahe genug,

für die Längen-Abweichung $= \frac{a^2\, r\, \psi^2}{(r+2a)^2}$;

Digitized by Google

für die Seiten - Abweichung $= \frac{a^2 r \psi^3}{(r+2a)(r+a)}$;
für a ∞ geht jene in $= \frac{1}{2} r \psi^2$,
diese in $= \frac{1}{2} r \psi^3$, über.

Für Strahlen, die geneigt gegen die Axe, aber unter sich parallel einfallen, ist hier keine neue Betrachtung nöthig; sie bringen auf dem mit ihrer Richtung parallelen Radius ein Bild genau so, wie die vorhin betrachteten in der Axe hervor, und die Formeln für die Abweichung sind also die eben angeführten. Wollte man wissen, ob ein parabolischer Spiegel für solche von der Axe abweichende Strahlen bessere Dienste leiste, als ein sphärischer, so müſste man so rechnen. Es sey des parabolischen Spiegels Brennweite = f, also p = 4 f, so war die oben gefundene Formel für die Seiten - Abweichung $\frac{3}{8} p \alpha^3 (\xi - 1) = \frac{3}{2} f \alpha^3 (\xi - 1)$, die halbe Breite des Spiegels kann hier $= 2 f \xi \alpha$ gesetzt werden; eigentlich $= 2 f \text{ Tang.} \xi \alpha$, und wenn diese = z heiſst, so ist also die Seiten - Abweichung $= \frac{3}{4} \alpha^2 (z - 2 f \alpha)$; beim sphärischen Spiegel hingegen ist sie $= f \psi^3 = f . \frac{z^3}{8 f^3}$, weil $2 f \psi = z$ die Breite des Spiegels nahe genug ausdrückt. Da nun $\alpha$ immer sehr klein ist, so wird $+ \frac{3}{4} \alpha^2 (z - 2 f \alpha)$ allemal kleiner als $\frac{z^3}{8 f^2}$ seyn. Wäre z. B. $\alpha = \frac{1}{2}$ Grad $= 0{,}009$ und $z = 0{,}4 . f$, was etwa einem Bogen von 12 Graden entspricht, so ist beim parabolischen Spiegel

für $z = + 0{,}4$ f, die Abweichung $= 0{,}000023$
für $z = - 0{,}4$ f, diese aber $= 0{,}000025$
Beim Kugelspiegel $= 0{,}008$.

4. Um die Vergröſserung richtig zu schätzen, welche die Hohlspiegel, namentlich die sphärischen, bewirken, muſs man Folgendes überlegen. Wenn A a der gespiegelte Gegenstand ist, so ist für den Punct $\alpha$ die Linie a c als Axe des Spiegels anzusehen, und das Bild e wird eben so bestimmt, wie vorhin das Bild E. Da nun E e zwischen den Schenkeln des Winkels E C e = a C A liegt, so ist $e E = a A . \frac{CE}{CA}$, und das wirklich entstehende Bild ist gröſser als der Gegenstand, wenn $CE > CA$ ist; im entgegengesetzten Falle aber kleiner. Eben diese Bestimmung findet noch statt, wenn das scheinbare Bild hinter dem Spiegel liegt. Ist G g ein solcher Gegenstand, so können Fig. 115.

wir h als das Bild von g und H als das Bild von G ansehen. Es ist aber Hh allemal gröſser als Gg und zwar desto mehr, je weiter hinter dem Spiegel die Durchschnittspuncte des zurückgeworfenen Strahles mit der Axe liegen.

Diese Bestimmungen gelten wenigstens beinahe genau für Strahlen, die der Axe nahe einfallen; steht das Auge dagegen so, daſs es Strahlen erhält, die vom Rande des Spiegels zurückgeworfen werden, so versetzt er das Bild dahin, wo sich zwei Linien schneiden, die als zurückgeworfene Strahlen das Auge bei wenig veränderter Stellung treffen. Stellt zum Beispiel K einen Punct vor, dessen Bild das Auge O im Spiegel sieht, so muſs es bei richtiger Aufmerksamkeit das Bild nach L setzen, weil bei geringer Aendernng der Lage des Auges von O bis o, es dem bewegten Auge so scheint, als ob die reflectirten Strahlen von L ausgingen. Dieser Punct L ist etwas verschieden von dem, wo ein in KC stehendes Auge den Gegenstand hin versetzen würde, KC aber ist für den Punct k, als Axe des Spiegels anzusehen.

Da es wegen dieser ungleichen Lage des Punctes L keinen in völliger Strenge als wahren Ort des Bildes anzusehenden Punct giebt, so hat Kästner die Bestimmung der Vergröſserung im Hohlspiegel von einer andern Seite aufgefaſst. Wenn ein Gegenstand im ebenen Spiegel gesehen wird, so zeigt er sich uns unter einer bestimmten, scheinbaren Gröſse, unter welcher scheinbaren Gröſse zeigt er sich uns im Hohlspiegel? Es sey der Gegenstand ein Theil des Radius CE, und O das
Fig. 116. Auge; man sollte nun eigentlich fragen, wenn U, X, gegebene Puncte sind, wo liegen die Puncte V, Y, von welchen die reflectirten Strahlen in das Auge kommen? Da aber die allgemeine Beantwortung dieser Frage, von der ich nachher noch mehr sagen will, auf keine bequeme allgemeine Formeln führt, so will ich für einen einzelnen Fall die Auflösung umgekehrt suchen, nämlich wo liegt U, wenn O und V gegebene Puncte sind. Es sey der Halbmesser des Spiegels $= r$, $CO = nr$, $AOV = \zeta$, $ACE = \alpha$; so findet man Sin. OVC = n. Sin. $\zeta$ und $OVC = CVU$; $VCA = \zeta + OVC$,

$$\text{und } CU = \frac{r. \text{Sin. } OVC}{\text{Sin. } (\alpha + \zeta + 2\, OVC)}.$$

Es sey als einzelnes Beispiel $n = 1$, $CO = CA$, $ACE = 30$ Grade, und nun $\zeta = 5°$ und $\zeta = 6°$ dann wird CU

Digitized by Google

$= 0{,}123257 \,.\, r$; $CX = 0{,}140657 . r$. Hier würde also $UX = 0{,}0174 . r$ unter dem Winkel $1^\circ$ erscheinen. Wäre dagegen bei V ein ebener Spiegel auf CV senkrecht aufgestellt, so sähe das Auge O das Bild von UX, so als ob es sich in ux befände, und es wäre der senkrechte Abstand des Bildes u hinter dem Spiegel so groſs, als der senkrechte Abstand des Gegenstandes U vor dem Spiegel, also $wu = wU = CV = CU \;\text{Cos.}\, UCV$

$$= r - CU . \text{Cos.}\ (a + \zeta + OVC).$$

Der Abstand Ou ist =

$$\sqrt{\left\{ (CV + wu + CO . \text{Cos. } VCA)^2 + (CU . \text{Sin. } VCU + CO . \text{Sin. } VCA)^2 \right\}}$$

$$= \sqrt{\left\{ (r + wu + a \text{ Cos. } (\zeta + OVC))^2 + (CU . \text{Sin. } (\alpha + \zeta + 2 OVC) + a \text{ Sin. } (\zeta + OVC))^2 \right\}}$$

Eben so wird Ox gefunden und daraus xOu berechnet. In unserm Exempel wird

$$wu = (r - CU . \text{Cos. } 40^\circ) \text{ und } zx = (r - CX . \text{Cos. } 42^\circ)$$

$$Ou = \sqrt{\left\{ (r + wu + r . \text{Cos. } 10^\circ)^2 + (CU . \text{Sin. } 45^\circ + r . \text{Sin. } 10^\circ)^2 \right\}}$$

$$Ox = \sqrt{\left\{ (r + zx + r . \text{Cos. } 12^\circ)^2 + (CX . \text{Sin. } 48^\circ + r \text{ Sin. } 12^\circ)^2 \right\}}$$

$$ux = UX, \text{ also } wu = 0{,}90558 \,;\, zx = 0{,}89547;$$
$$Ou = 2{,}9022 \,;\, Ox = 2{,}8906.$$

und daraus xOu ungefähr 20'.[1] Der sphärische Spiegel zeigt das Bild etwa dreimal so groſs.

5. Die allgemeine Auflösung des Problems, aus der gegebenen Lage des gespiegelten Punctes und des Auges, den Punct des Spiegels zu finden, wo der Strahl zurückgeworfen wird, ist ziemlich schwierig. Wenn O das Auge, P der leuchtende Fig 117 Punct ist, und ACB den Winkel PCO halbirt, welcher an des Spiegels Mittelpunct entsteht, so sind $CO = a$, $CP = a'$, $BCO = BCP = \alpha$ gegeben. X sey der gesuchte Punct der Zurückwerfung, $ACX = \varphi$, so soll $PXC = OXC$ seyn. Es

$$\text{ist aber Tang. } OXC = \frac{a . \text{Sin. } (\alpha + \varphi)}{r + a \text{ Cos. } (\alpha + \varphi)}$$

$$\text{und Tang. } PXC = \frac{a' \text{ Sin. } (\alpha - \varphi)}{r + a' \text{ Cos. } (\alpha - \varphi)}$$

$$\text{also} \quad r . a . \text{Sin. } (\alpha + \varphi) - r a' . \text{Sin. } (\alpha - \varphi) = - a a' \text{ Sin. } 2\varphi.$$

---

1 Vergl. Kästner de objecti in spec. sphaer. visi magnitudine apparente. Nov. Commentarii soc. Gotting. VIII. 114.

und hieraus müſste $\varphi$ gefunden werden. Man hat auch

$$r \text{ Sin. } \alpha\, (a - a') + r \text{ Cos. } \alpha\, (a + a') \text{ Tang. } \varphi = - 2 a a'. \text{Sin.} \varphi.$$

und diese Gleichung rational gemacht, und so ausgedrückt, daſs sie nur Sin. $\varphi$ oder Cos. $\varphi$ enthält, ist vom vierten Grade. Kästner giebt eine Methode, um etwas leichter den Zweck durch indirecte Auflösung zu erreichen [1].

6. Die verschiedenen Meinungen über die Lage des Bildes beim Hohlspiegel scheinen mir, nach dem eben darüber Mitgetheilten, keine ausführliche Darstellung zu verdienen, da der Grund, warum nicht alle in den Spiegel sehenden Augen das Bild in einerlei Puncte sehen, aus dem Vorigen erhellet. Schon Euklides bemerkte, daſs das Bild in dem Radius liege, welcher durch den abgespiegelten Punct geht; Barrow bestimmt den Ort des Bildes genauer, nämlich er liege in der Spitze des von den reflectirten Strahlen gebildeten Kegels. Aber diese Bestimmung gilt nicht mehr, wenn das Auge weit von dem Radius entfernt ist, wo der gespiegelte Punct sich befindet, weil es zwar einen Punct giebt, der für viele Strahlen als Spitze eines solchen Kegels gelten kann, aber nicht für alle. [2] Tacquet nimmt auf diese Verschiedenheit zwar Rücksicht, indem er das Bild in den Punct jenes Radius setzt, wo der zum Auge kommende reflectirte Strahl ihn schneidet; aber es ist kein bestimmter Grund da, warum wir das Bild gerade da zu sehen glauben sollten [3]. Für eine Stellung des Auges, die weit von dem Radius ab liegt, in welchem sich der gespiegelte Punct befindet, trifft die (nach Gehler's Angabe) von Brengger geäuſserte Meinung, das Bild liege in dem Perpendikel vom leuchtenden Puncte auf die im Reflectionspuncte berührende Ebene, etwas besser zu [4]; aber ganz ausreichend kann keine solche Regel seyn.

Einige andere hieher gehörende historische Bemerkungen kommen im Art. *Brennspiegel* und *Katoptrik* vor. Ueber die Anwendung s. *Spiegelteleskop*. *B.*

---

1 Nov. Commentarii soc. Gotting. VII. 92.

2 Barrow lect. opt. Lect. V.

3 Catoptrica. I. prop. 20.

4 Epist. ad Keplerum scriptae. Ep. CLI. und d'Alembert opuscules. 1. 275.

Digitized by Google

# Horizont.

Gesichtskreis; *Horizon; Circulus finitor;* l'Horizon; *Horizon.* Wenn wir auf einer ganz freien Ebene oder auf dem Meere um uns sehen, so scheint uns die Halbkugel des Himmels in der Ferne auf der Erde aufzuliegen; der Kreis, welchen wir hier als Grenze der sichtbaren Himmelskugel wahrnehmen, ist der Horizont, der begrenzende Kreis (ὁρίζειν, begrenzen). Die Himmelskugel mit ihren Sternen umgiebt freilich die ganze Erde, aber da unsere Aussicht da, wo unsere Gesichtslinie durch die Erde gehen müſste, durch diese aufgehalten wird, so ist diejenige Gesichtslinie, welche die Oberfläche der Erde berührt, zugleich die letzte, welche noch die Himmelskugel trifft, oder sie trifft eben jene Grenze, den Horizont. Wenn unser Auge, wie es oft genug der Fall ist, sich nahe an der Oberfläche des Meeres befindet, so ist die Berührungsebene an den Punct der Erde gelegt, wo wir uns gerade befinden, diejenige, welche unsere Aussicht begrenzt oder die Ebene des scheinbaren Horizontes, und nur die Gegenstände sind sichtbar, welche sich über dieser Ebene befinden. Diese Ebene verstehen wir daher immer, wenn wir von dem scheinbaren Horizonte des Ortes reden, wo wir uns befinden, und obgleich bei einer höhern Stellung des Auges in a uns Fig. 118. noch Gegenstände sichtbar bleiben, die unterhalb dieser bei b berührenden Ebene liegen, indem jetzt erst die Berührungslinie a d die Aussicht begrenzt, so sehen wir dennoch b c als die Ebene des Horizontes an, unter welchen hinab sich nun unser Gesichtskreis noch erstreckt.

Alles was am Himmel über jener Ebene liegt, ist über unserm Horizonte. Bewegte sich also ein Stern oder Mond in solcher Nähe, wie der Kreis e f es zeigt, um die Erde, so würde bei weitem nicht die Hälfte seiner Bahn uns sichtbar seyn, sondern er würde nur einen kleinen Theil derselben über unserm Horizonte durchlaufen. Für einen entferntern, um den Mittelpunct der Erde gezogenen Kreis, wie h i k, ist der über dem Horizonte liegende Theil schon gröſser, aber erst bei sehr groſser Entfernung kommt er dem Halbkreise so nahe, daſs wir ohne merkliche Fehler sagen können, wir übersehen den ganzen Halbkreis. Da wir nun in der Astronomie so oft genöthiget



Digitized by Google

sind, das was wir auf der Oberfläche der Erde beobachten, mit dem zu vergleichen, was ein Beobachter im Mittelpuncte der Erde beobachten würde, so ziehen wir für diesen Beobachter eine Ebene ACB mit der Ebene unseres scheinbaren Horizontes parallel, und diese heiſst der *wahre Horizont.* Es erhellet nämlich leicht, daſs ein der Erde sehr nahes Gestirn diesen Horizont schon in B erreicht hätte, ehe es bei uns aufginge. So verhält es sich wirklich mit dem Monde. Wenn der geocentrische Beobachter den Mond in meinem wahren Horizonte in B sieht, oder ihn von meinem Zenith 90 Grade entfernt sieht, so steht der Mond noch unter meinem scheinbaren Horizonte oder wird mir noch nicht sichtbar. Für den Mond beträgt der Winkel hCA, um welchen er oberhalb des wahren Horizontes stehen muſs, ungefähr einen Grad, und erst wenn er sich so hoch über der Ebene ACB befindet, erscheint er in meinem scheinbaren Horizonte. Dieser Winkel, der nach der bald geringern, bald gröſseren Entferung des Mondes von uns zuweilen etwas mehr, zuweilen weniger als 1 Gr. beträgt, heiſst die *Horizontalparallaxe* des Mondes. Bei entferntern Körpern ist dieser Winkel noch kleiner, bei der Sonne zum Beispiel nur wenig über 8 Secunden. Für die Fixsterne ist von diesem Unterschiede nicht das Geringste mehr zu bemerken, und in Beziehung auf sie ist daher der wahre Horizont als mit dem scheinbaren Horizonte zusammenfallend anzusehen.

Daſs der Horizont zuweilen zufällig durch Gegenstände verdeckt wird, kann offenbar auf diese Bestimmung keinen Einfluſs haben, sondern wir nehmen auch in solchen Fällen den Horizont in jedem Puncte 90 Grade vom Zenith entfernt an. Darnach bestimmen wir die Zeit des Aufgangs und Untergangs der Gestirne, und auch ihre Höhe über dem Horizonte wird von da an gerechnet, so daſs sie den Abstand vom Zenith zu 90 Graden ergänzt. Der Horizont schneidet den Mittagskreis im Nordpuncte und Südpuncte, den Aequator im West- und Ostpuncte[1]. Auf dem Horizonte werden die *Azimuthe* vom Südpuncte oder Mittagspuncte an gezählt, die *Morgenweite* vom Ostpuncte, die *Abendweite* vom Westpuncte.

*Horizontal*, *waagerecht*, *wassergleich*, (*horizontalis, ad libellam composita linea;* ligne horizontale; *horizontal*

1 S. *Weltgegenden*; *Hauptgegenden.*

*line*) heiſst eine Linie, wenn sie mit dem scheinbaren oder wahren Horizonte des Ortes parallel läuft. Eine horizontale Ebene ist gleichfalls die mit dem scheinbaren Horizonte parallele Ebene, die also gegen die zum Zenith hin gezogene Linie senkrecht ist. Da alle flüſsige Körper beim Gleichgewichte die Stellung annehmen, daſs ihre Oberfläche eine gegen die Verticallinie oder die nach dem Zenith gerichtete Linie senkrechte Richtung hat, so heiſst die horizontale Richtung auch wassergleich und die Wasseroberfläche dient uns oft selbst, um die Horizontalfläche zu bestimmen. Unsere Niveau's[1] sind solche Wasserflächen. Aber auch die Verticallinie dient uns zur Bestimmung der Horizontallinie, indem schon die gewöhnlichen *Bleiwaagen*, *Schrotwaagen*, *Setzwaagen* dadurch ihre richtige Stellung erhalten, daſs das herabhängende Loth auf *eine* Linie einspielt, und dann die *zweite* auf jene senkrecht gezogene Linie die Horizontallinie zeigt.

Wenn wir unser Auge nur um das Geringste über die Oberfläche des Meeres erheben, so übersehen wir einen Theil der Erd-Oberfläche, dessen Gröſse sich leicht bestimmen läſst. Es sey AB = h. diese Höhe, CA = CD = r, der Halbmesser der Fig. 119.
Erde, so ist $\frac{r+h}{r}$ = Sec. ACD, und ACD ist der Winkel am Mittelpuncte, welchem der übersehene Bogen = r, ACD zugehört, durch diese Formel bestimmt man[2], wie weit man von einer gegebenen Höhe sehen kann, oder umgekehrt, wie weit ein in gegebener Höhe über der Erde liegender Punct entfernt seyn muſs, um im scheinbaren Horizonte zu liegen. Wolken, die uns im Horizonte erscheinen, sind daher schon 19 Meilen entfernt, wenn ihre Höhe auch nur 5000 Fuſs beträgt, und 39 Meilen entfernt, wenn sie 20000 Fuſs beträgt. Feuerkugeln, von denen es gewiſs ist, daſs sie zuweilen in 40 Meilen Höhe entstehen, sind bei solcher Höhe 260 Meilen weit sichtbar, und bei 100 Meilen Entfernung von der Erde würde man sie bis auf 400 Meilen von dem Puncte, wo sie im Zenith stehen, sehen können. Die Strahlenbrechung vermehrt noch diese Entfernung um etwas Erhebliches. *B.*

---

1 Vergl. *Waſſerwaage.*
2 S. Art. *Erde.* Th. III. S. 838.

Digitized by Google

Künstlicher Horizont. S. Spiegelsextant.

Horopter. S. Gesicht. Th. IV. S. 1472.

## Hundstage.

*Dies caniculares;* jours caniculaires; *canicular days, dogdays.* Die Zeit vom 23. Juli bis 23. August umfaſst die Hundstage. Sie heiſsen so, weil sie bei den Griechen durch den Aufgang des Hundssterns, *Sirius*, bestimmt wurden. Die *ὀπώρα* der Griechen nämlich fing mit dem Aufgange des Hundssterns an, der nahe mit dem Eintritte der Sonne in das Gestirn des Löwen zusammenfällt, und endigte mit dem Aufgange des Arcturus, der freilich viel später ist, als das Ende unserer Hundstage. So giebt man gewöhnlich die Dauer der *ὀπώρα* an. Kruse, bei dem die Stellen der alten Schriftsteller angeführt sind[1], giebt den Anfang dieser Jahrszeit nach Euktemon als auf den 27. Tag des Krebses fallend an; von dieser Zeit an weheten die *Etesien* 55 Tage und hörten kurz vor dem Frühaufgange des Arcturus auf[2]. Diese Zeit der Hundstage ist in Griechenland durch groſse Hitze, und nach Hippokrates auch durch schwere Gallenkrankheiten ausgezeichnet.

Daſs die Hundstage auch bei uns als die heiſseste Zeit des Jahres angesehen werden, ist bekannt, doch fällt die Zeit der gröſsesten Hitze, im Mittel aus vielen Jahren, ziemlich bald nach dem Anfange der Hundstage, und wenn wir sie auch nur bis zum 23. August rechnen, so ist doch gegen ihr Ende die Abnahme der Wärme meistens schon sehr merklich.

Die genaue Zeit zu berechnen, wenn Sirius irgend einem Orte heliace oder cosmice aufgeht, hat für uns zu wenig Interesse, als daſs ich dabei zu verweilen brauchte[3].

## Hydraulik.

*Hydraulica;* Hydraulique; *Hydraulics.* Unter diesem Namen hat man oft die sämmtlichen Lehren, welche die Bewe-

1 Hellas von Kruse 1r Th. S. 249.

2 Hellas I. 246.

3 S. Pfaff de ortu et occusu siderum, und Art. *Aufgang.*

Digitized by Google

gung flüssiger, unelastischer Körper betreffen, vorgetragen: da aber der Name von ὑδραυλὶς, die Wasser-Orgel, herkommt, so ist es wohl angemessener, den Namen Hydraulik nur auf die technischen Anwendungen zu beziehen, die man von der Bewegung des Wassers macht; ich habe deshalb den theoretischen Theil der Lehren von der Bewegung des Wassers unter dem Titel: *Hydrodynamik* vorgetragen.

Die Gegenstände, welche zur Hydraulik gehören, sind, so weit sie in den Plan des Wörterbuches gehören, fast sämmtlich in besondern Artikeln abgehandelt, ich erwähne sie daher nur kurz.

Der Ausfluſs des Wassers aus Oeffnungen, dessen Gesetze im Art. *Hydrodynamik* erläutert sind, findet eine praktische Anwendung bei dem Visiren der Quellen, wodurch man die Menge Wasser bestimmt, welche man aus der Quelle erhält. Wenn gleich die Abmessung vermittelst des Eichgefäſses und die Bestimmung der Menge nach Wasserzollen nicht die passendste und daher nicht mehr so allgemein üblich ist, als ehemals, so muſs ich sie doch wohl kurz erwähnen. Man bedient sich dazu eines Gefäſses, das Kreisöffnungen hat, und zwar eine von 1 Zoll Durchmesser, und andere, welche an Fläche halb so groſs, ein Viertel so groſs, ein Zwölftel so groſs sind; diese dienen zu Bestimmung der Quantitäten, die man 1 Wasserzoll, $\frac{1}{2}$ Wasserzoll, $\frac{1}{4}$ Wasserzoll, 1 Wasserlinie nennt. Dieses Gefäſs läſst man, während alle Oeffnungen geschlossen sind, sich aus der zu untersuchenden Quelle füllen, öffnet dann eine der Oeffnungen oder mehrere, und ändert dieses so lange ab, bis man diejenigen gefunden hat, welche eben so viel Abfluſs geben, als die Quelle Zufluſs gewährt; hat man nun dies Gefäſs so weit gefüllt, daſs alle Mittelpuncte um die bestimmte, gleiche Tiefe unter der Oberfläche liegen, so sagt man, die Quelle gebe einen Wasserzoll, wenn die 1 zollige Oeffnung Abfluſs genug gewährt und so weiter. Daſs sich ähnliche Anordnungen auch gebrauchen lassen, um einen gegebenen Wasservorrath nach bestimmten Verhältnissen zu vertheilen, versteht sich von selbst[1].

---

1 Biot traité de la construct. des instrumens. p. 172.
Von den Maſsbestimmungen der Römer bei ihren Wasserleitungen giebt Frontinus Nachricht (de aquae ductibus urbis Romae. 24 bis 63.)

Digitized by Google

Die künstlichen *Springbrunnen*, sie mögen nun bloſs durch den Druck einer Wassersäule oder durch irgend eine beliebige Kraft, als namentlich auch durch comprimirte Luft zum Springen gebracht werden, hängen gleichfalls von den Gesetzen des Wasserausflusses ab.

Wie die *Wasser-Uhren* nicht minder hiermit zusammengehören, will ich nachher angeben.

Auch die verschiedenen Arten von *Pumpen*, von *Saugwerken* und *Druckwerken*, gehören hierher, weil die Schnelligkeit, mit welcher das Wasser durch die Oeffnungen zutritt, auf ähnliche Bestimmungen, wie die der Geschwindigkeit des freien Ausflusses aus Gefäſsen beruht.

Weniger theoretische Kenntnisse fordern diejenigen zum Heben des Wassers bestimmten Werkzeuge, die man *Kastenkünste*, *Paternosterwerke*, *Schaufelwerke* nennt. Bei den ersteren sind es Kästen, die unten mit Wasser gefüllt, dann hinaufgezogen und oben in eine Rinne ausgegossen werden. Um sie zu heben, dienen zwei, vertical über einander, horizontal und parallel liegende Wellen, an deren polygonisch geformter Oberfläche sich die Kästen anlegen; die untere liegt im Wasser, die obere in der Höhe, bis zu welcher das Wasser gehoben werden soll, und bei gleichmäſsigem Drehen beider Wellen werden die an einer Kette ohne Ende, in gehörigen Entfernungen angebrachten Kästen, gehoben, um oben ihr Wasser auszugieſsen. Bei den *Paternosterwerken* und ebenso bei den *Schaufelwerken* wird das Wasser in einer verticalen oder geneigten Röhre hinaufgeschoben, und die verschiedenen Namen sind nur daher entstanden, daſs es bei jenem ausgestopfte lederne Kugeln sind, die in gewissen Abständen hinter einander folgend und in der Röhre fortgezogen, dem zwischen ihnen eingeschlossenen Wasser den Rückweg verschlieſsen, beim Schaufelwerke hingegen gut anschlieſsende Scheiben oder Schaufeln, die eben diesen Zweck erfüllen. Auch sie sind an eine über zwei eckige Wellen gehende, oder von den Speichen zweier Räder gefaſste, Kette ohne Ende befestigt, deren eine Hälfte in der Röhre hinauf geht, und das nachher oben ausflieſsende Wasser hinaufzieht, während die andere Hälfte hinabgeht, um jenen Dienst immer aufs Neue zu verrichten [1].

---

1 Langsdorf Hydraulik. S. 580. Büsch Uebersicht des Wasser-

Etwas Aehnliches thun die Schöpfräder, die in Kästen, am Umfange eines Rades angebracht, das Wasser heben und oben in eine Rinne ausgieſsen. Kommt es nur darauf an, das Wasser aus niedrigen Ländereien wenige Fuſs hoch über einen Damm von geringer Höhe hinüber zu heben, so ist es hinreichend mit den Wurfrädern, die Büsch beschreibt[1], das von den Schaufeln aufgefaſste Wasser über diese Dämme hinüber zu werfen. Hier wird nämlich in einer Rinne, die an der hinaufwärts gedrehten Seite des Rades ungefähr so, wie es der Kreis-Umfang des Rades fordert, gekrümmt ist, das Wasser von den Schaufeln des Rades auf eine ähnliche Weise hinaufgeschoben, wie es bei den vorhin beschriebenen Schaufelwerken in geraden Röhren der Fall war. Dabei ist es nicht nöthig, daſs die Schaufeln sehr eng an die Wände der Rinne anschlieſsen, indem bei schneller Drehung des Rades Wasser genug aufwärts mit fortgerissen wird, wenn auch wegen der Zwischenräume viel Wasser vorbei laufend wieder in die Gegend, woraus es gehoben wird, zurück gelangt. Die Rinne, welche das Rad zum Theil umgiebt, pflegt bei diesen Rädern nur einen Theil des vom untersten Puncte anfangenden Quadranten zu umfassen, und endiget sich oben in eine über einen Damm hinüber geleitete Rinne; dieser Damm trennt das zu entwässernde Land von dem Strome, wo das gehobene Wasser seinen Abfluſs findet; aber umgekehrt könnte auch zur Bewässerung des Landes oder um das Wasser sonst anzuwenden, dieses vom Strome aus in jene Rinnen gebracht werden.

Die unter dem Namen der *Archimedischen Wasserschraube* und der *Spiralpumpe* bekannten Werkzeuge zum Heben des Wassers werden in eignen Artikeln erklärt werden. Auch Langsdorf's Saug-Schwung-Maschine[2] gehört zu den Werkzeugen, um Wasser zu heben.

Eine andere Hauptclasse von Maschinen sind die verschiedenen *Wassermühlen*, die ebenfalls der Hydraulik angehören. Wie man die Wirkung dieser Wasserräder beurtheilen und be-

---

baues 1. Th. S, 56. — Schöpfwerke, wie sie noch jetzt in Aegypten angewandt werden, beschreibt Niebuhr, Reise nach Arabien I. 148.

1 Büsch Hydraulik. §. 55. und Eytelwein Mechanik und Hydraulik. S. 442.

2 II. Th. S. 82.

rechnen kann, wird in einem eignen Artikel gezeigt werden; daſs sie aber dann zur Betreibung aller Arten von Maschinen angewandt werden können, läſst sich wohl übersehen.

Als ein eigner Zweig der angewandten Hydrodynamik verdient hier noch die Hydrotechnik, *Wasserbaukunst, architectura hydraulica,* erwähnt zu werden, da auch sie auf Principien der Physik beruht. Von der einen Seite freilich, so fern sie bloſs eine besondere Anwendung der Baukunst ist, umfaſst sie Vieles, dessen Erörterung nicht hierher gehört, aber bei denjenigen Theilen der Hydrotechnik, die sich an die Physik anschlieſsen, muſs ich einen Augenblick verweilen.

Es sind vorzüglich fünf Zwecke, die man in der Hydrotechnik zu erreichen sucht:

1. Sicherung der den Ueberschwemmungen ausgesetzten Länder gegen das herandringende Wasser; 2. Erhaltung der Strom- oder See-Ufer, welche durch die Gewalt des Stromes oder der Wellen einen Abbruch erleiden würden; 3. Gewinnung neuen Landes oder Beförderung des Anwachses; 4. Benuzzung des Wassers für die Schiffſahrt, Anordnung von Canälen und Häfen; 5. Austrocknung versumpfter oder wenigstens zu gewissen Jahrszeiten der Ueberschwemmung ausgesetzter Ländereien.

Was die Sicherug der niedrig liegenden Gegenden betrifft, die entweder bei Anschwellung der Ströme durch starken Zufluſs aus den obern Gegenden oder bei hohen Meeresfluthen den Ueberschwemmungen ausgesetzt seyn würden, so genügt es hier zu bemerken, daſs man den schützenden Dämmen oder Deichen, bloſs der Erfahrung folgend, eine hinreichende Höhe und Stärke geben muſs. Man hat theoretische Bestimmungen gesucht, welche Gestalt man der abgeflächten äuſsern Seite des Dammes am Meere geben muſs, damit er den Wellen am Besten widerstehe; aber da theils unsere Theorie der Wellen noch nicht die Vollkommenheit hat, die zu einer solchen Bestimmung erfordert würde, theils die ungleichen Höhen der Fluthen ganz verschiedene Bestimmungen fordern würden, und endlich die sich am Ufer brechenden und überstürzenden Wellen, welche gerade am nachtheiligsten wirken, noch ganz auſser dem Gebiete unserer Wellentheorie liegen, so scheint eine sehr flach abhängige geradlinige Dossirung, (*Böschung*, äuſsere Fläche des Deiches), die

angemessenste[1]. Die Mittel, deren man sich bedient, um durch Bedeckung dieser Fläche die Zerstörung derselben durch die Wellen zu verhüten, erwähne ich hier nicht; jedoch gehört die Bemerkung hierher, daſs man nicht ohne Grund diejenigen Steinbedeckungen des Deichflusses, die niedrig genug liegen, um selten oder nur auf kurze Zeit der Gewalt der überschlagenden Wellen ausgesetzt zu seyn, an ihrem untern Theile steiler, an ihrem obern Theile flacher angelegt, weil die Gewalt der Wellen auf die Theile, die im Wellenschlage immer unter Wasser bleiben, geringer ist, und überdies die bei einem niedrigen Wasserstande den untern Theil treffenden Wellen nie die Gewalt haben, wie bei mehr Wassertiefe.

Daſs diese Dämme oft Abwässerungsschleusen, welche das Wasser herauslassen, sobald der äuſsere Wasserstand niedrig genug geworden ist, versehen seyn müssen, daſs diese Schleusen sich aber von auſsen dicht schlieſsen müssen, um dem höheren Wasser den Eintritt zu verwehren, versteht sich von selbst.

Diese Beschützung durch Deiche reicht aber nicht aus, indem theils die Ströme in ihren concaven Krümmungen, theils das Meer oder die am Ausfluſs sehr breiten Flüsse durch ihren Wellenschlag, einen *Abbruch* des Ufers bewirken, der entweder die Dämme zu unterhöhlen droht, oder wenigstens die Erhaltung derselben darum erschwert, weil auf niedrigem Grunde, wo also ein hoher Wasserstand über dem Vorgrunde des Deichs entsteht, die Gewalt der Wellen viel gröſser wird. Diesem Abbruche zu wehren, reicht es zuweilen hin, die Ufer nur mit einer nicht leicht zerstörbaren Bedeckung zu versehen. Dieses ist vorzüglich da zu empfehlen, wo man entweder der Schifffahrt wegen auf mäſsigen Flüssen keine Einbaue anlegen darf, oder wo man hoffen darf, daſs die Veranlassung zum Abbruche vorübergehend seyn kann. Das letzte findet an den Mündungen groſser Ströme zuweilen dann statt, wenn Sandbänke in der Mitte des Flusses diesen nöthigen, sich gegen das Ufer zu drängen; denn diese Sandbänke sind sehr vielen Veränderungen unterworfen, und können für eine Zeit lang dem Ufer groſse Nach-

1 Woltmans Untersuchungen im 2. Th. d. Beiträge zur hydraul. Architectur verdienen über diese theoretischen Bestimmungen gelesen zu werden.

Digitized by Google

theile bringen, nach wenigen Jahren aber ganz verschwunden oder wesentlich geändert seyn. Da wo der Abbruch an breiten Flüssen durch eine immerfort dauernde Richtung des Stromes gegen das Ufer fortwährend unterhalten wird, ist es dagegen nöthig, durch *Einbau* dem Strome seine richtigen Grenzen anzuweisen. Hier sollte es nun allerdings eine Theorie geben, welche aus der Schnelligkeit des Stromes und andern Umständen beurtheilen lehrte, wie weit von einander Einbaue von bestimmter Länge das Ufer schützen, welche lehrte, ob senkrecht gegen das Ufer gerichtete Einbaue am meisten leisten, u. s. w.; aber eine solche Theorie fehlt uns gänzlich, und die groſse Schwierigkeit der Untersuchungen, auf welche sie gebaut seyn müſste, läſst voraussehen, daſs sie uns noch lange fehlen wird. Die Erfahrung zeigt, daſs die Richtung dieser Einbaue senkrecht gegen den Strom seyn muſs, daſs sie dann, wenn sie nicht zu schroff angelegt sind, und besonders an der Spitze eine angemessene Abdachung haben, den Strom nöthigen, eine dem Ufer parallele, etwas vom Ufer entfernte Richtung zu verfolgen, deren Lauf durch die Spitzen der nicht zu weit aus einander liegenden Einbaue ziemlich gut bestimmt wird; vor dem abbrechenden Ufer bildet sich dann, in dem gegen den Anfall des Stromes gesicherten Raume zwischen zwei Einbauen, ein abhängiger Vorgrund, der endlich hoch genug wird, um den Abbruch des Ufers gänzlich zu heben, oder ihn doch wenigstens sehr zu mäſsigen. Steil gebaute Werke verursachen durch die an ihren Spitzen entstehenden Wirbel groſse Vertiefungen, und man findet daher, obgleich Faschinenwerke sehr vergänglich sind, und oft in ihren obern Lagen erneuert werden müssen, diese am zweckmäſsigsten. An süſsem Wasser gewährt das Ausgrünen der Weidenzweige, die man oben an den Faschinenwerken anbringt, einen angenehmen Vortheil; an salzigem Wasser muſs man auf diesen Vortheil Verzicht leisten, indeſs haben auch da, selbst bei einer Wassertiefe von 30 bis 40 Fuſsen, gut gebauete Faschinenwerke am besten dem Zwecke entsprochen. Da wo man bloſs den Meereswogen entgegen bauet, beruhet der Vortheil, den diese Einbaue gewähren, darauf, daſs sie zwischen sich ein stilleres Wasser machen und dem Sande und Schlamme erlauben, sich zu senken. Je mehr dadurch der Vorgrund des eigentlichen Ufers an Höhe zunimmt, desto weniger ist es der Gefahr weitern Abbruchs ausgesetzt, und es ist

Digitized by Google

daher gewiſs, daſs auch hier Einbaue von Nutzen sind, obgleich ihre groſse Kostbarkeit die Anlagen schwierig macht, und die Voraussicht eines nie endenden Kampfes mit dem stürmischen Meere niederschlagend seyn würde, wenn nicht die Ueberzeugung, daſs nur durch solche Mittel das Land gesichert werden kann, eine dringende Aufforderung zur Fortführung dieses Kampfes enthielte.

Angenehmer ist der Zweck des Wasserbaues da, wo man Anwachs zu bewirken, oder den schon freiwillig entstehenden zu befördern Hoffnung hat. Es ist sehr bekannt, daſs die fruchtbaren Marschländer an der Nordsee ehemals durch Niederschlag einer fetten Erde aus dem Meereswasser entstanden sind[1]. Die Ursachen, welche ehemals hier gewirkt haben, dauern nicht überall noch eben so günstig wirkend fort, sondern an sehr vielen Orten ist eben dieses ehemals angeschlämmte Land einem starken Abbruche unterworfen, so daſs es scheint, daſs ehemals die Gewalt der Ströme den Wellenschlag kräftiger zurückgehalten habe, oder mit andern Worten, daſs unter den einander entgegen wirkenden Ursachen ehemals die eine mächtiger war, jetzt die andere. Die Ströme nämlich, wo sie sich ins Meer ergieſsen, geben eine Veranlassung zum Anwachs, indem die von ihnen fortgeführten trüben Theile sich hier zu Boden senken, wo die Gewalt des Stromes gänzlich aufhört; aber dieser leicht wieder aufzuregende Niederschlag hat an den stürmischen Meereswogen einen nie ruhenden Feind, und die frühern sehr ausgedehnten Anschlämmungen konnten entweder nur durch eine minder stürmische Zeit begünstigt, oder durch vorliegende Inseln geschützt entstehen, oder vielleicht dadurch, daſs ein viel weiter zurückgehender (unser jetziges Land mit umfassender) flacher Abhang den Angriff der Wellen schwächte. Es giebt noch jetzt Stellen, zum Beispiel am Ausflusse der Weser, wo das See-Ufer in völligem Beharrungsstande ist, und wo die weit ausgedehnte Abflächung des Bodens vom grünen Ufer an gerade diejenige ist, welche den Wellen keinen zureichenden Angriff gestattet, um nachtheilig zu werden, wo aber doch auch der bei stillen Fluthen zu Boden gesunkene Schlamm und Sand in stürmischen Winterfluthen wieder verloren geht. An diesen Stellen lieſse sich allenfalls ein Anwuchs erzwingen, aber er

1 Vergl. *Geologie* Th. IV. S. 1322.

Digitized by Google

würde mit zu vielem Aufwande verbunden seyn. Dagegen giebt es an geschützteren Stellen noch jetzt einen natürlichen Anwachs, und selbst, wo dieser nicht statt findet, kann es der Mühe und der Kosten werth seyn, ihn hervorzubringen. Da wo der, vor dem grünen Ufer liegende, Vorgrund einen so ungemeinen flachen Abhang hat, daſs dieser auf einige hundert Fuſs Entfernung nicht viel über einen Fuſs beträgt, da legt sich bei gewöhnlichen Fluthen selbst der feinere, im Wasser zertheilte, Schlamm zu Boden, und wenn er gut entwässert wird, so erlangt er während der stillen Sommerfluthen Consistenz genug, um auch den stürmischen Winterfluthen zu widerstehen. Daher ist der natürliche Anwachs da am Besten im Fortgange, wo sich durch Zufall kleine Rinnen, in denen das Wasser bei der ersten Ebbe abläuft, gebildet haben, weil da der an andern Stellen allzu feucht und halbflüssig bleibende Schlamm mehr Festigkeit erlangt. Die Kunst, den Anwachs an solchen Stellen zu befördern, besteht daher nur darin, daſs man sehr flache Vertiefungen, vom Ufer hinauswärts laufend, gräbt, und die weiche Erde an die Seite wirft, von welcher die stürmischen Winde sie auf das zwischen liegende einige Ruthen breite Feld, und nicht in den flachen Graben zurück führen. Diese kleinen, wenn gleich nur aus Schlamm aufgeführten, nicht einen Fuſs hohen Dämme werden bald fest und erlangen die Consistenz, welche nöthig ist, um die ersten auf salzenem Boden wachsenden Kräuter hervorzubringen, und diese bedecken zuerst diese Dämme und dann bald auch die zwischen liegenden Stücke. Da es an Saamen zu diesen Pflanzen nie fehlt, so wird nach und nach dieser Boden von selbst immer dichter mit Pflanzen besetzt, die zwischen sich den Ruhestand des Wassers und das Sinken der Schlammtheile beförden, so daſs der Anwachs um so lebhafter fortgeht, und der Boden sich um so sicherer erhöhet, je mehr er schon begrünt ist. Dieses dauert nicht bloſs bis zur Höhe der täglichen Fluth, sondern noch weiter; denn obgleich die höheren Fluthen schon seltener sind, so kommen doch die, welche die gewöhnliche Fluth um 3 bis 4 Fuſs übersteigen, noch oft genug vor; diese bringen, weil sie mit stürmischem Wetter verbunden sind, viele erdige Theile mit, und dieser Schlamm senkt sich zwischen den, zum Theil hoch aufwachsenden Kräutern in starkem Maſse. Ganz ebenso müssen auch diejenigen Marschen entstanden seyn, die vor den Zeiten einer regelmä-

Digitized by Google

ſsigen Beobachtung entstanden sind, doch deuten bei diesen die ungleichartigen Erdschichten auf ein nicht so gleichförmiges Aufwachsen, wie wir es jetzt beobachten. An Stellen, wo der Ruhestand des Wassers nicht groſs genug ist, um so von selbst Anwachs zu bewirken, kann man durch lange Einbaue diesen Ruhestand bewirken und dadurch selbst einen starken Abbruch in langsamen Anwachs verwandeln.

Diese Bemerkungen bezogen sich auf die am Ufer der See entstehenden neuen Länder, deren jährlich gewonnene Fläche noch immer sehr ansehnlich ist und die, wenn sie hoch genug sind, durch Deiche gesichert die allerfruchtbarsten Felder geben. In Flüssen könnte man oft da, wo in Krümmungen das Ufer convex ist, ebenso und noch leichter Anwachs bewirken; aber da dieses nicht immer ohne Nachtheil für das concave, gewöhnlich abbrechende, Ufer geschehen kann, so treten dabei oft andere Rücksichten auf den Nachtheil für den Nachbar ein, welche hindern, jenen Vortheil zu benutzen. Bei jenen Erscheinungen, welche man an den See-Ufern beobachtet, glaubte ich um so eher verweilen zu dürfen, weil sie zugleich ein Phänomen der physischen Geographie näher kennen lehren.

Die hydrotechnische Benutzung des Wassers für die Schifffahrt schlieſst sich gleichfalls an physikalische Betrachtungen an. Der Wasserschatz, aus welchem ein anzulegender Canal sein Wasser erhalten soll, muſs freilich vor allem nach örtlichen Umständen beurtheilt werden, aber diese Beurtheilung hängt zugleich von der Kenntniſs der Regenmenge und der Gröſse der Verdunstung ab. In die Hydraulik gehören, sowohl bei künstlichen Canälen, als bei Strömen, die man bequemer schiffbar machen will, die Fragen, wie groſs bei gegebenen Dimensionen des Canales oder Flusses und bei gegebenem Gefälle die Geschwindigheit des Stromes wird, ob man einen bestimmten Abfall, so wie er vorhanden ist, darf bestehen lassen, oder ob dieser durch Schleusen unterbrochen werden muſs u. s. w. Auch der Wasser-Aufwand, den jedes durch eine Schleuse gehende Schiff fordert, muſs nach Regeln, die in die Lehre von der Bewegung des Wassers gehören, berechnet werden; der Bau der Schleusen fordert Rücksichten auf die Lehrsätze der Hydrostatik, nach welchen die Stärke der Thüren, die Vorsichten bei Sicherung des Grundes u. s. w. müssen angeordnet werden.

Beim Hafenbaue, wo es vorzüglich auf die Sicherung der

Digitized by Google

Schiffe gegen die Wellen und zugleich auf die Mittel zu Erhaltung einer hinreichenden Tiefe ankommt, sind es besonders die Mittel, unter Wasser, und oft selbst bei groſser Tiefe, zu bauen, welche die gröſste Sorgfalt, so wie den Scharfsinn des Baumeisters in Anspruch nehmen. Es würde aber zu weit auſser dem Plane eines nicht auf Technologie, sondern nur auf Physik sich beziehenden Werkes liegen, wenn ich hierbei oder bei den Austiefungsmaschinen und andern Hülfsmitteln zur Erhaltung der Tiefe umständlicher verweilen wollte.

Eben diese Ueberlegung, nicht über den Plan des Buches hinauszugehen, nöthigt mich, von den Entwässerungen niedrigen Landes nur wenig zu sagen. Die Schöpfmaschinen, welche früher schon erwähnt sind, dienen vorzüglich, den Zweck, ein Stück Land auszutrocknen, zu erfüllen, und wo das Land zu niedrig liegt, um durch eine einzige Hebung trocken zu werden, da ist man genöthigt, das Wasser durch die erste Schöpfmaschine bis in ein Bassin und dann von da durch eine zweite bis zum freien Abflusse zu heben. In manchen Fällen aber kann man sich die Mühe des Ausschöpfens ganz oder zum Theil ersparen, wenn man im Stande ist, das von angrenzenden höhern Gegenden hereinströmende Wasser abzuhalten, und diesem einen andern Weg ins Meer oder in einen Strom anzuweisen. Manche Ländereien sind nicht durch das auf sie selbst fallende Regenwasser versumpft, sondern werden es dadurch, daſs die dahinter liegenden Gegenden ihre Gewässer ungehindert hierher senden, und da ist es vortheilhafter, diese um die niedrigen Gegenden weg zu leiten, wodurch dann diese von selbst eines trockneren Zustandes genieſsen. Auf diese Weise scheint die Austrocknung der Pontinischen Sümpfe möglich zu seyn.

## Geschichte und Literatur.

Unter den hydraulischen Erfindungen, deren Urheber uns genannt werden, gehören die Wasserschraube des Archimedes und die Wasseruhren des Ktesibius zu den frühesten. Nach Vitruvius[1] Beschreibung der letztern wurde in dem Gefäſse, in welches das Wasser aus einer engen Oeffnung einströmte, ein Schwimmer gehoben, der eine gezahnte Stange trug und durch

1 De architectura. IX. 9.

diese Räder drehte, welche theils die Zeit anzugeben, theils andere Maschinen in Bewegung zu setzen, kleine Spielwerke (z. B. das Werfen von Steinchen) zu bewirken, angewandt wurden. Eine Einrichtung, die Stunden zu zeigen, bestand darin, daſs eine mit dem Schwimmer gehobene Figur mit ihrem Stabe die Stunde bezeichnete, wo also der Zufluſs des Wassers der Stunden-Abtheilung gemäſs angeordnet seyn muſste. Schon Ktesibius im 2ten Jahrhundert vor Christo oder wenigstens der etwas später lebende Hero nehmen hierbei auf die Ungleichheit der Stunden und auf den ungleich schnellen Zufluſs des Wassers Rücksicht. Weil nämlich die zwölf Tagesstunden nicht in jedem Monate gleich waren, so wurden diese ungleichen Stunden-Abtheilungen auf verschiedene Seiten jener Säule, gegen welche der Stab der Statüe zeigte, aufgetragen und in jedem Monat die ihm entsprechende Abtheilung hervorgewendet. Vitruv erzählt, daſs das in einer engen Röhre heruntergleitende Gewicht, indem es die verdichtete Luft hervordrängte und dadurch einen Ton hervorbrachte, den Ktesibius auf die Verbindung von hervorströmendem Winde und entstehenden Tönen aufmerksam gemacht und zu Verfertigung hydraulischer Maschinen, worunter auch die Wasser-Orgel genannt wird, veranlaſst habe.

Hero, von welchem noch ein Buch *Pneumatica seu spiritalia* vorhanden ist[1], war ebenfalls durch künstliche Wasser-Uhren berühmt, und giebt in jenem Buche Springbrunnen und andere hydraulische Kunstwerke an, die zum Theil noch unter seinem Namen (*Heronsbrunnen*, *Heronsball*) bekannt sind. Hippias soll sie noch mehr verbessert haben.

Wassermühlen waren ebenfalls schon vor Vitruvius bekannt, und Ausonius (im 4ten Jahrhundert nach Christo) erwähnt auſser ihrer Anwendung zu Kornmühlen auch die Anwendung zum Sägen des Marmors.

Ueber die Abmessung und Austheilung des der Stadt Rom zugeleiteten Wassers theilt Julius Frontinus (im Anfang des 2ten Jahrhunderts nach Christo) umständliche Nachrichten mit. Er erwähnt zwar die Ungleichheit des Ausflusses, die bei gleichen Oeffnungen und gleichen Röhren aus der ungleichen Höhe des Wasserstandes hervorgeht, scheint aber eine genaue Ver-

1 Lateinisch durch Commandinus. Paris. 1575.



Digitized by Google

gleichung doch nicht angestellt zu haben. Die ungemein starken Abweichungen seiner Angaben der Wassermengen von den Angaben seiner Vorgänger, (die er bei jeder einzelnen Wasserleitung anführt) zeigt, mit wie geringer Sorgfalt die Maſse der Oeffnungen bestimmt seyn mochten und mit welcher Oberflächlichkeit die ganze Untersuchung angestellt wurde[1].

Viel Neues scheint in den folgenden Jahrhunderten nicht zu den Kenntnissen jener Zeiten hinzugekommen zu seyn. Nach Montucla's Meinung scheinen auch bei den Arabern vom Wasser getriebene Uhren bekannt gewesen und zu allerlei mechanischen Spielen angewandt worden zu seyn[2]. Die Erfindung der Windmühlen legt Montucla den Holländern bei und setzt sie in das 10te Jahrhundert.

Erst mit Regiomontanus, das heiſst gegen das Ende des 15ten Jahrhunderts kommt etwas von hydraulischen Untersuchungen wieder vor. Dieser schrieb nämlich über Wasserleitungen; Ubaldi, im Anfange des 17ten Jahrhunderts commentirte den Archimedes und schrieb über die archimedische Wasserschraube. Aus den folgenden Zeiten führe ich nur einige Werke von etwas mehr Bedeutung an: Schottii mechanica hydraulico-pneumatica Herbipoli 1657. Boekleri architectura curiosa, oder Bau- und Wasserkunst. Nürnberg 1704. Weit mehr als diese Schriftsteller lehrt Leupold in dem theatrum machinarum hydraulicarum. Tomi 2. (Leipzig 1724.), und vorzüglich Belidor in seiner architecture hydraulique. 4 Tomes. Paris 1736—1753. nouv. ed. 1819 par Navier. Dieser giebt theils von der eigentlichen Hydraulik, theils von Mühlen und andern Maschinen, theils auch von den hydrotechnischen Arbeiten, vom Bauen im Wasser und dergleichen einen für den Praktiker noch immer lehrreichen Unterricht, wozu Navier noch Verbesserungen beigefügt hat.

---

1 Jul. Frontinus de aquaeductibus urbis Romae. Als einen Beweis hierfür kann ich mich nicht enthalten die sonderbare Angabe auszuheben, daſs der Zufluſs 12755 Quinarien, die vertheilte Wassermenge 14018 betragen sollte. Hujus rei admiratio, daſs man mehr austheilte, als man hatte, habe ihn bewogen, sagt Frontinus, die Sache genauer zu untersuchen, und da fand er denn den Zufluſs = 24413 Quinarien, fast doppelt so groſs als seine Vorgänger. Vgl. Polenus Anm. zu Frontinus. Cap. 64.

2 Montucla hist. I. 267. 292. 530. 533.

Unter den neuern Büchern haben folgende, bei manchen Mängeln doch einen bedeutenden Werth: Langsdorf's Lehrbuch der Hydraulik. Altenburg 1794. Prony nouvelle architecture hydraulique. Paris 1786; van d. Horst theatrum machinarum. 2 Theile. Poppe Encyklopädie des gesammten Maschinenwesens. Leipzig 1810. 6 Bände. Eytelwein's Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik. Berlin 1801.

Von hydrotechnischen Schriften verdienen folgende, die nicht bloſs einzelne Gegenstände betreffen, erwähnt zu werden: Die Sammlungen, deren drei unter dem ziemlich gleichen Titel: Raccolta d'autori, che trattano di moto dell' acque, die erste in Florenz 1723 (3 Bände); die zweite Florenz 1765 bis 1777 (9 Bände); die dritte Parma 1766 (7 Bände), erschienen sind. Ferner Ximenes raccolta delle opuscoli idraulici. 2 Bände. Florenz 1785. Zendrini leggi, fenomeni ed usi delle acque corrente. Venezia 1741. Woltman's Beiträge zur hydraulischen Architektur. 4 Theile. Göttingen 1791 — 1799. Wiebeking's theoretisch-praktische Wasserbaukunst. 5 Bände, München 1798. Gilly und Eytelwein prakt. Anleitung zur Wasserbaukunst. Berlin 1805. Bösch, Uebersicht des Wasserbaues. Hamb. 1802. und neu herausg. v. Wiebeking. Schulz, Versuch einiger Beiträge zur hydraul. Architektur. Königsberg 1808. Funk, Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst. Lemgo 1808.

Schriften über einzelne Gegenstände lieſsen sich sehr zahlreiche anführen; ich will nur einige der wichtigern erwähnen: Hunrich's Anleitung zum Deich - Siel - und Schleusenbau. Bremen 1770. 2 Theile. — De la Lande des canaux navigables. Paris 1778. Hogrève, prakt. Anweisung zur Baukunst schiffbarer Canäle. Hannover 1805. Woltman's Beiträge zur Baukunst schiffbarer Canäle. Göttingen 1805. Woltman's Beiträge zur Schiffbarmachung der Flüsse. Hamburg 1826. Maillard Anleitung zu Ausführung schiffbarer Canäle. Pesth 1817. Arbeiten der Brücken- und Wegebau-Ingenieurs, oder Uebersicht der unter Napoleon ausgeführten Arbeiten an Brükken, Canälen, Häfen u. s. w. von Courtin, Gotha 1813.

Reports, estimates and treatises, embracing the several subjects of Canals, navigable Rivers, Harbours, Bridges, Draining, etc. by J. Smeaton, in 3 Volumes. Dutens mém. sur les travaux publics de l'Angleterre. Huerne de Pommeuse des canaux navigables, avec des recherches sur la navigation inte-



Digitized by Google

rieure de la France et de l'Angleterre. 2 Tomes. J. Smeaton's historical Report on Ramsgate Harbour. London 1791.

Prony description hydrographique et historique des marais Pontins; où l'on trouve une analyse raisonnée des projets proposés pour le dessèchement, etc.

Fossombroni saggio sulla bonificazione delle Paludi Pontini. (in der Memorie di matematica e fisica della Societa Italiana. XVII. *B.*

# Hydrodynamik.

*hydrodynamica;* hydrodynamique; *hydrodynamics.* Unter diesem Namen, der eigentlich sowohl die Gesetze des Gleichgewichts als der Bewegung flüssiger Körper andeuten könnte, begreift man nur die Lehren von der Bewegung flüssiger Körper.

## 1. Darstellung derjenigen Lehren der Hydrodynamik, welche theils auf Erfahrungen gegründet, keiner rein theoretischen Entwickelung fähig sind.

Einer der einfachsten Fälle, wo sich uns Bewegung des Wassers darbietet, ist das Ausflieſsen desselben aus Gefäſsen. Die Betrachtung wird am einfachsten, wenn die Ausfluſs-Oeffnung sehr klein ist, und daſs da die Ausfluſsmenge, bei einer, bloſs der Schwere unterworfenen, Flüssigkeit vorzüglich von der Druckhöhe, von der Tiefe des Wassers unter der Oberfläche abhänge, scheint einleuchtend. Man könnte nun erstlich experimentirend einen doppelten Weg einschlagen, um die Geschwindigkeit des ausflieſsenden Wassers zu bestimmen, und zweitens eben diese aus theoretischen Schlüssen herleiten.

Um die Geschwindigkeit des hervorströmenden Wassers zu beobachten, sey zuerst die Oeffnung, die wir noch immer als sehr klein voraussetzen, so gestellt, daſs der Wasserstrahl horizontal hervorbreche; dann wird jedes Wassertheilchen als ein
Fig. geworfener Körper anzusehen seyn, und wenn die Höhe ab
120. dem Fallraume in 1 Sec. gleich ist, so wird die Entfernung bc, in welcher der parabolische Strahl ac den horizontalen Boden

Digitized by Google

b c trifft, gleich der horizontalen Geschwindigkeit des in a hervordringenden Wassers seyn. Die kleinen Correctionen, welche hierbei wegen des Widerstandes der Luft erforderlich sind, lassen sich leicht anbringen. Stellt man dieses Experiment an, so findet man, mit einer völlig genügenden Genauigkeit die Geschwindigkeit gleich derjenigen, welche ein von der Oberfläche e d des Flüssigen, bis zur Oeffnung a frei und vertical herabfallender Körper im freien Falle erreichen würde, und diese Geschwindigkeit ist dem gemäſs, was eine theoretische Bestimmung ergiebt. Ein zweites Mittel, die Ausfluſsgeschwindigkeit zu bestimmen, scheint sich in der Abmessung der ausgeflossenen Menge des Flüssigen darzubieten. Ist die Oberfläche e d so groſs, daſs in 1 Min. nur ein unerhebliches Sinken derselben eintreten kann, so beobachte man, wie viel Cubikzolle Wasser in dieser Zeit ausflieſsen; es scheint nun, daſs man die ausgeflossene Menge als einen Cylinder ansehen dürfe, dessen Querschnitt die Oeffnung ist, und also die Länge dieses Cylinders als den in 1 Min. von dem hervordringenden Wassertheilchen durchlaufenen Raum, und dass sich so eine zweite Bestimmung für die Ausfluſsgeschwindigkeit ergebe. Stellt man diesen Versuch wirklich an, so findet man die Wassermasse, welche ausflieſst, viel geringer, als sie nach der, vermittelst der ersten Methode gefundenen, Geschwindigkeit seyn sollte. Dieser Unterschied der Angaben liegt nicht in einer unrichtigen Bestimmung der nach der vorigen Methode gefundenen Geschwindigkeit, sondern eine sorgfaltigere Beobachtung zeigt, daſs der Querschnitt des ausflieſsenden Wasserstrahles nicht der Ausfluſs-Oeffnung gleich ist, sondern daſs auſserhalb dieser eine Zusammenziehung des Strahles (*contractio venae*) erfolgt. Statt also aus der Wassermenge und der gegebenen Gröſse der Oeffnung die Geschwindigkeit berechnen zu wollen, muſs man die letztere vielmehr als durch theoretische Schlüsse oder durch die Bestimmungen der ersten Methode gegeben ansehen, und kann dann aus der beobachteten Wassermenge den Querschnitt des zusammengezogenen Strahles berechnen, den man theils hierdurch, theils durch wirkliche Messung bestimmt und gefunden hat, daſs der Durchmesser des hervordringenden Strahles bei Kreis-Oeffnungen in dünnen Wänden ziemlich nahe $\frac{4}{5}$ der Oeffnung ist.

Diese Zusammenziehung des Strahles entsteht daher, weil nicht bloſs die in senkrechter Richtung gegen die Wand oder

Digitized by Google

den Boden liegenden Theilchen gegen die Oeffnung heranrücken, sondern auch von der Seite her sich Waſſertheilchen herzudrängen, die ihre gegen die Axe des Strahls geneigte Richtung noch auſserhalb der Oeffnung behalten, und die Form des verengerten Waſſerstrahles beſtimmen. Dieſe in ſchiefer Richtung in die Oeffnung eintretenden Theilchen hindern, daſs nicht so viele Waſſertheilchen in gerader Richtung eintreten können, als zur Ausfüllung der Oeffnung erforderlich wäre, und die Menge des ausflieſsenden Waſſers iſt daher verſchieden, je nachdem die Richtung der Waſſertheilchen in der Oeffnung durch angebrachte Röhrchen anders beſtimmt wird, oder ganz dem freien Zutreten von der Seite her gemäſs iſt.

Man hat ſchon ſeit der Mitte des 17. Jahrhunderts Verſuche über dieſen Gegenſtand angeſtellt. Castelli glaubte 1640 aus einem unvollkommenen Verſuche zu finden, daſs die Geſchwindigkeit des ausflieſsenden Waſſers der Druckhöhe proportional ſey[1]. Schon Torricelli ſtellte dagegen den richtigen Satz auf, daſs die Geſchwindigkeiten ſich verhalten, wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen[2], den auch Mariotte[3] und beſonders Guglielmini[4] durch eine Reihe ſehr gut zuſammenſtimmender Verſuche beſtätigten. Vorzüglich ſorgfältige Verſuche, die nicht allein das Verhältniſs der Ausfluſsmenge bei verſchiedenen Druckhöhen, ſondern die wahre Quantität der ausgefloſſenen Waſſermenge betreffen, hat Poleni im Anfange des vorigen Jahrhunderts angeſtellt[5]. Er richtete beſonders ſeine Aufmerkſamkeit auf die bei gleichen Waſſerhöhen, und gleich groſsen Oeffnungen dennoch ungleich hervorgehende Waſſermenge, die nämlich am wenigſten betrug, wenn der Waſſerſtrahl aus einer bloſsen, in einem dünnen Bleche gebohrten Oeffnung hervordrang, und bedeutend zunahm, wenn man eine cylindriſche oder coniſche Röhre von einigen Zollen lang an die Oeffnung anſetzte; bei dieſen verſchiedenen Anordnungen der Ausfluſs-

---

1 Della misura dell' acque correnti in der nuova raccolta d'autori, che trattano del moto dell' acque. Parma 1766. Vol. I.

2 Del moto dei gravi. 1644.

3 Du mouvement des eaux. 1686.

4 De mensura aquarum fluentium.

5 De castellis, oder mit dem italieniſchen Titel: delle peſcaje in der oben erwähnten Raccolta III.

Digitized by Google

öffnung ändert sich nämlich der Querschnitt des zusammengezogenen Strahles, und nach Poleni's Bemerkung vermischen sich die von den verschiedenen Seiten kommenden Wassertheilchen mehr beim Gebrauche der Ansetzröhrchen, als bei einer bloſsen Oeffnung in einer dünnen Platte. Er zeigte dieses dadurch, daſs er auf die eine Seite des hervordringenden Strahles Tinte brachte, die bei einer dünnen Platte fast völlig, bis auf 2 Fuſs Entfernung, an dieser Seite des Strahles blieb, statt daſs sie bei einem Ansatzrohre sich schneller durch den ganzen Strahl vertheilte.

Den Durchmesser des zusammengezogenen Strahles, den Poleni $= \frac{41}{52}$ des Durchmessers der Oeffnung angab, fand Newton[1] durch wirkliche Abmessung $= \frac{42}{50}$; Daniel Bernoulli[2] leitet aus seinen Versuchen $\frac{1}{\sqrt{2}}$ oder $= 0{,}707$ her, und dieses stimmt mit Newton's Verhältniſs $= (0{,}84)^2 = 0{,}7056$ überein[3].

Eine eben solche Abmessung, die Borda angestellt hat, will ich hier sogleich mit anführen; sie gab den Durchmesser des zusammengezogenen Strahles $= 0{,}802$, also seinen Inhalt $= 0{,}647$ der Oeffnung. Borda glaubt, Newton's Versuch habe wegen zu geringer Gröſse der Oeffnung mehr gegeben[4].

In neuerer Zeit haben Bossüt, Langsdorf, Vince, Michelotti, Eytelwein und Hachette Versuche über diesen Gegenstand angestellt. Die Versuche der beiden ersteren ergeben[5] den Querschnitt des zusammengezogenen Strahles bei Oeffnungen in dünnen Platten $= 0{,}62$, für cylindrische Ansetzröhren $\doteq 0{,}8$ bis $0{,}81$ der Oeffnung; dieses Verhältniſs vermindert sich ein wenig bei gröſsern Druckhöhen. Vince[6] macht die Bemerkung, da der Querschnitt des zusammengezogenen Strahles kleiner sey, als die Oeffnung, so müsse man die Ge-

---

1 Princ. phil. nat. Lib. II. p. 36.

2 Hydrodynamica. Sect. 4. §. 3.

3 Vergl. Kästner's Hydrodynam. S. 62.

4 Mém. de Paris. 1766. p. 587. Borda's übrige Versuche scheinen mir nicht wichtig genug, um sie umständlicher anzugeben.

5 Bossüt Lehrbegr. d. Hydrodynamik; übers. v. Langsdorf, und Langsdorf's Lehrb. d. Hydraulik. S. 8.

6 Phil. Tr. 1795. I.

ſchwindigkeit als bis dahin, wo der Strahl am dünnſten iſt, zunehmend anſehen. Wenn Vince im horizontalen Boden eine Oeffnung in 12 Zoll Tiefe machte und da die Ausfluſsmenge beobachtete, und wenn er dann zu einem zweiten Verſuche eine 1 Zoll lange Röhre anſetzte, ſo daſs die eben ſo groſse Mündung der Röhre 13 Zoll unter der Oberfläche lag, ſo verhielten ſich die Waſſermengen nicht wie $\sqrt{12} : \sqrt{13}$, ſondern wie 3 : 4, und eben die Waſſermenge blieb ziemlich unverändert, wenn auch die Anſatzröhre nur $\frac{1}{2}$ Zoll lang war; bei $\frac{1}{4}$ Zoll Länge war die Ausfluſsmenge faſt ſo wie ohne Anſatzröhre, aber es fand ſich auch, daſs der zuſammengezogene Strahl bei ſo kurzen Röhren nicht die ganze Röhre füllte. Hier zeigte ſich alſo deutlich die Wirkung der Anſatzröhre, aber Vince erwartete mit Unrecht, daſs die Waſſermenge ſich nach Maſsgabe der Druckhöhe über der unterſten Oeffnung vermehren ſollte; er vergaſs, daſs ja unten nicht *mehr* ausflieſsen konnte, als die obere Oeffnung der Röhre aufnahm, und daſs hier nicht eine ſo erhebliche Vermehrung des Zufluſſes ſtatt finden konnte, wie in andern; nachher zu erwähnenden Fällen. Vince fand alſo für Oeffnungen in dünnen Platten und in kurzen cylindriſchen Anſatzröhren das Verhältniſs der Waſſermengen ziemlich wie Bossüt und Langsdorf. Er bediente ſich auch coniſcher Anſatzröhren und zwar theils ſolcher, die ſich nach auſsen erweiterten, theils ſolcher, die ſich nach auſsen verengerten, und unterſuchte, ob ſich ein Druck auf die Wände dieſer kurzen Röhrchen wahrnehmen lieſse. Um dieſen wahrzunehmen, machte er Oeffnungen in die Wände der Röhre und fand, daſs bei den cylindriſchen, oder ſich nach auſsen erweiternden Röhren zwar etwas Waſſer hervordrang, aber ohne eine erhebliche Kraft oder ohne ſeitwärts fort zu ſpritzen, bei den ſich nach auſsen verengernden Röhren dagegen ſpritzte das Waſſer aus den Oeffnungen der Seitenwand hervor. Der Grund liegt offenbar darin, daſs bei den ſich erweiternden Röhren und ſelbſt bei cylindriſchen Röhren die am Eintritte herzudringende Quantität des Flüſſigen nur gerade ausreicht, um den Abfluſs zu erſetzen, ſtatt daſs die auſsen engere Röhre nicht ganz ſo viel abflieſsen läſst, als in die weitern Oeffnungen nachdringen kann, und dieſer ſtärkere Zudrang den Seitenöffnungen auch noch geſtattet, Waſſer mit erheblicher Ausfluſsgeſchwindigkeit herzugeben.

Noch weit mehr Werth, als dieſe, haben Eytelwein's

Verſuche[1], wo bei 4 Fuſs Waſſerhöhe und 266 Quadratzoll Querſchnitt des Gefäſses, die Ausfluſsmündung immer 1 Zoll weit war. Hier ward nun beobachtet, in wie langer Zeit ein Gefäſs von 4156 Cubikzollen gefüllt wurde, und die Ungleichheit dieſer Zeiten, je nachdem eine oder die andre Anſatzröhre gebraucht wurde, machte den Gegenſtand der Beobachtungen aus. Dabei ward indeſs das Gefäſs, aus welchem das Waſſer ausfloſs, nicht gefüllt erhalten, weil die bei zuflieſsendem Waſſer unvermeidlich hervorgehende unregelmäſsige Bewegung des Waſſers im Gefäſs das gleichmäſsige Ausflieſsen ſtörte; da es aber hier nur auf die Vergleichung des Ausfluſſes nach Verſchiedenheit der Röhrchen ankam, ſo nehme ich auf die ſpäter zu erwähnende Ungleichheit der Geſchwindigkeit bei einem ſich ausleerenden Gefäſse hier nicht Rückſicht. Jenes als Maſs dienende Gefäſs wurde in $59\frac{1}{2}$ Sec. gefüllt, wenn die Mündung in einer $\frac{1}{2}$ Linie dicken Platte war, und dann betrug die Ausfluſsmenge 0,6176 der berechneten Quantität, die nämlich der bekannten Geſchwindigkeit gemäſs bei nicht contrahirtem Strahle ausflieſſen ſollte. Dagegen füllte ſich das Gefäſs ſchon in $37\frac{1}{2}$ Sec., wenn man eine Einfluſsröhre, deren äuſsere Mündung 12 Lin., die innere Mündung 15 Lin. war und deren Länge 8 Lin. betrug, im Innern des Gefäſses anfügte. Hier war alſo die Ausfluſsmenge $= 0{,}9798$ der berechneten, und dieſes bloſs deshalb, weil der ſtörende Seitenzufluſs nahe vor der Ausfluſsöffnung durch die kleine Einmündungsröhre abgehalten und der Zufluſs ſchon im Innern des Gefäſses ſo zugeleitet wurde, wie es die ſonſt erſt im Freien entſtehende Form des zuſammengezognen Strahls fordert. Brachte man eine der vorigen Einmündungsröhre ganz ähnliche an, ſetzte aber zugleich noch auſserhalb ein Ausfluſsröhrchen an, das $8\frac{11}{16}$ Zoll lang und am Ausfluſsende $1\frac{19}{24}$ Zoll weit vor, ſo füllte ſich das zur Meſſung dienende Gefäſs in $23\frac{2}{3}$ Sec. und die Waſſermenge betrug nun mehr, als ſie bei 1 Zoll weiter Oeffnung, nach der Berechnung betragen ſollte, nämlich 1,5526 der theoretiſch beſtimmten Menge. Hier zeigte ſich alſo die Einwirkung der vor der Oeffnung angefügten Anſatzröhre am deutlichſten, und dieſe ſcheint darin zu beſtehen, daſs die Anziehungskraft der Röhre gegen das Waſſer bewirkt, daſs die Röhre ſich ganz füllt, und dann aus der vordern weitern Mündung ſogar

1 Handb. d. Mechanik feſter Körper und der Hydraulik. S. 118.

mehr ausflieſst, als der kleinern Zufluſsöffnung gemäſs scheint.
Fig. 121. Oeffnet man nämlich plötzlich die Oeffnung ab, so ist der Druck des Wassers stark genug, um dem ausflieſsenden Wasser die ganze der Höhe hk zugehörige Geschwindigkeit zu ertheilen; die wirklich ausflieſsende Masse würde also bei völlig freiem Zuflusse wenigstens $0,61 \cdot 2ff. \sqrt{gh}$ seyn, wenn h die Druckhöhe, also $2\sqrt{gh}$ die erlangte Geschwindigkeit ist, und ff den Querschnitt der Oeffnung ab bedeutet. Dieser völlig freie Zufluſs wird nun freilich durch die engere Oeffnung cd gehemmt, aber indem im ersten Augenblicke ein stärkeres Hervorströmen aus ab statt fand, müſste zwischen cd und ab ein luft- und wasserleerer Raum entstehen, wenn der Zufluſs durch cd zum Ersatze des Ausflusses nicht hinreichte, und wenn dieser luftleere Raum wirklich entstände, so würde auf k ein Druck $= h + $ Druck der Luft $= h + 32$ Fuſs das Hervordringen des Wassers durch cd befördern; freilich würde in eben dem Augenblicke auch der Druck der Luft auf ab den Ausfluſs des Wassers hemmen, aber dennoch ist es, obgleich es nie dazu kommt, daſs vor cd ein leerer Raum entstände, jener von k her verstärkte Druck, welcher den Ausfluſs unterhält. Versuche von Dan. Bernoulli[1] und die ganz eben so ausgeführten von Venturi[2] zeigen dieses noch deutlicher. Bei einem dieser Experimente war ebenso, wie im eben erwähnten Versuche, die äuſsere Mündung der horizontalen Röhre weiter, als die Einmündung und in dem Zwischenraume ca hatte eine Heberröhre fg
Fig. 122. eine freie Verbindung mit dem Wasser in cb. So lange nun kein Ausfluſs statt fand, hatte das Wasser bei f eben die Höhe, wie im Gefäſse, aber sobald das Ausflieſsen anfing, senkte sich das Wasser in f tiefer als die Oberfläche im Gefäſse, zum Beweise, daſs ein Heransaugen der Flüssigkeit in der Gegend ac statt fand, oder das zu schnelle Ausflieſsen des Wassers bei ab das hinterwärts liegende, (vermöge des Drucks der Luft) mit sich fortriſs. Wäre bei Eytelwein's Versuche der Zufluſs ganz ungehemmt gewesen, so würde aus der Mündung, $= \frac{43}{24}$ Zoll weit, wenigstens $0,6 \cdot (\frac{43}{24})^2 = 1,9$ mal so viel Wasser ausgeflossen seyn, als die für 1 Zoll theoretisch berechnete Wassermenge betrug, weil sich die Wassermenge im Verhältnisse der Oeffnung vergrö-

1 Comment. acad. Petrop. IV. 194.

2 G. II. 430. 461.

ſsern sollte und doch wenigstens 0,6 der theoretisch bezeichneten Menge ausflieſst; statt dessen floſs aber nur das 1,55 fache aus, wovon der Grund aus dem vorigen wohl zu übersehen ist. Im luftleeren Raume fände also diese Vermehrung nicht statt. Einige andere Versuche Eytelwein's will ich nachher erwähnen.

Am meisten ins Groſse getrieben sind unstreitig die Versuche Michelotti's über diesen Gegenstand[1]. Zu denselben wurde nahe bei Turin ein Arm des Flüſschens Cossola, der wegen seines schnellen Falles sich gut dazu eignet, angewandt, und ein mehr als 20 Fuſs hoher Wasserbehälter, der in der Beschreibung der Thurm genannt wird, gebauet. Dieser Thurm mit 27 Zoll dicken Wänden enthält einen innern Querschnitt von 9 Quadratfuſsen, sein Boden ist ein Fels und besteht aus einem einzigen Stücke. Er hat Seitenöffnungen zum Ausflieſsen des Wassers, deren eine ganz unten, die zweite 10 Fuſs hoch, die dritte 15 Fuſs hoch, sich noch 5 Fuſs unter dem Boden des Zuleitungscanales befindet. Gallerien um den Thurm geben an den Orten, wo beobachtet werden soll, einen bequemen Standpunct. Die Oeffnungen können sowohl durch die Deckplatte ganz geschlossen, als durch vorgeschobene Platten zu einer bestimmten Gröſse verkleinert werden. Ein Einleitungscanal von $2\frac{1}{4}$ Fuſs breit und $57\frac{1}{2}$ Fuſs lang, dessen letzter 24 Fuſs langer Theil aus einer, auf steinernen Bogen ruhenden, aus Mauerwerk aufgeführten Wasserleitung besteht, geht völlig horizontal bis zum Thurme fort. — Die übrigen Einrichtungen hier zu beschreiben würde zu viel Raum fordern. Die Höhen des Wassers wurden während der ganzen Zeit eines Versuchs oft genug, um diejenige äquirte Höhe, die man in Rechnung bringen muſste, zu bestimmen, angemerkt; das aus den Oeffnungen ausgeflossene Wasser aber in einem genau ausgemessenen groſsen Behälter von 289 Quadratfuſs Querschnitt aufgenommen und seinem Cubikinhalte nach berechnet.

Obgleich bei diesen, so wie bei einigen der schon erwähnten Versuche die Ausfluſsöffnung erheblich groſs war, so daſs man auf die verschiedene Tiefe ihrer einzelnen Theile unter der Oberfläche Rücksicht nehmen müſste, so kann man doch, wie sich nachher auch theoretisch zeigen wird, bei quadratischen

1 Michelotti speciment idraulici. Torino. 1767. und Mich. Hydraul. Versuche, übers. von Zimmermann. Berlin. 1808.

Digitized by Google

und kreisförmigen Oeffnungen die Mitte der Oeffnung, als den Punct, dessen Tiefe man in Rechnung ziehen muſs, ansehen. Aber bei den quadratischen Oeffnungen, die in einer 4 Linien dicken Platte eingeschnitten waren und 3 Zoll Seite hatten, fand sich, daſs die Ecken gar nicht von dem ausströmenden Wasser berührt wurden, und daſs der Strahl eine eckige Gestalt annahm, deren Querschnitte in mehr oder minderer Entfernung von der Oeffnung ungleich gefunden wurden[1].

Die Versuche wurden angestellt mit einer quadratförmigen Oeffnung von 3 Zoll Seite, an welche bei andern Versuchen eine 8 Zoll lange Röhre angesetzt wurde, und auch inwendig ein cykloidalischer Ansatz, als Zuleitung, angebracht werden konnte; ferner mit einer kreisförmigen Oeffnung von 3 Zoll Durchmesser, die entweder ohne Ansatzröhre, oder mit einer 8 Zoll langen cylindrischen Ansatzröhre gebraucht wurde; ferner mit 2 zölligen und 1 zölligen Oeffnungen. Diese Versuche wurden bei Wasserhöhen von ungefähr $6\frac{1}{2}$ Fuſs, $11\frac{3}{4}$ Fuſs, $21\frac{1}{2}$ Fuſs wiederholt. Hier ergab sich nun, daſs, indem man die theoretisch berechnete Geschwindigkeit als richtig annimmt, der zusammengezogne Strahl bei derselben Gröſse und sonstigen Einrichtung der Oeffnungen gleich gefunden wurde, man mochte die gröſsern oder die geringern Druckhöhen nehmen, daſs also die theoretisch berechneten Geschwindigkeiten bei ungleichen Höhen der wirklich ausflieſsenden Wassermenge proportional sind, und die Geschwindigkeiten also wirklich so groſs sind, wie diejenigen, die der Druckhöhe bei freiem Falle zugehören würden.

In Rücksicht auf die Vermehrung des Ausflusses bei angebrachten prismatischen oder cylindrischen Röhren auſserhalb, oder cykloidisch geformten Röhren innerhalb des Gefäſses geben die Versuche Resultate, die mit den schon erwähnten sehr nahe zusammenstimmen; ich theile hier eine kurze Uebersicht mit, worin bloſs die Gröſse, Gestalt und sonstige Einrichtung der Oeffnung, die Druckhöhe und das Verhältniſs der beobachteten Wassermenge zur berechneten, $=1$ gesetzten, angegeben wird[2].

---

1 In dem Werke Michelotti's sind diese Strahlen abgebildet; sie haben Aehnlichkeit mit der gleichsam gewundenen Form, die wir so oft an Wasserstrahlen bemerken, welche aus unregelmäſsigen Oeffnungen hervordringen.

2 Die vom jüngern Michelotti angestellten, im Anhange des

| | Druckhöhe. | | | Beobachtete Wassermenge. |
|---|---|---|---|---|
| Quadratische Oeffnung von 3 Zoll Seite in einer 4 Lin. dicken Platte. | 6' | 8" | 7''',6 | 0,6141 |
| | 11 | 9 | 1,9 | 0,6126 |
| | 21 | 8 | 10,8 | 0,6135 |
| Kreisförmige Oeffnung in einer dünnen Platte 3 Zoll Durchm. | 6' | 8" | 4''',0 | 0,6102 |
| | 11 | 7 | 9,2 | 0 6096 |
| | 21 | 7 | 3,4 | 0,6112 |
| Quadratische Oeffnung von 2 Z. Seite in einer 4 Lin. dicken Platte. | 6' | 7" | 9''',9 | 0,6515 |
| | 11 | 7 | 3,0 | 0,6450 |
| | 21 | 7 | 1,8 | 0,6359 |
| Eben die Oeffnung in einer Platte ¼ Lin. dick. | 6 | 9 | 10,1 | 0,6033 |
| | 21 | 8 | 10,7 | 0,6056 |
| Kreisförmige Oeffnung von 2 Zoll Durchm. in einer dünnen Platte. | 6 | 9 | 1,7 | 0,6132 |
| | 11 | 8 | 8,2 | 0,6024 |
| | 21 | 9 | 1,5 | 0,6025 |
| Quadratische Oeffnung 1 Zoll Seite in einer dünnen Platte. | 6 | 8 | 11,2 | 0,6086 |
| | 11 | 9 | 8,0 | 0,6061 |
| | 21 | 9 | 8,8 | 0,6047 |
| Kreisförmige Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser in einer dünnen Platte. | 6 | 10 | 6,9 | 0,6197 |
| | 22 | 0 | 2,5 | 0,6226 |
| Quadratische 3 zollige Oeffnung mit 8 Z. langer prismatisch. Ansatzröhre. | 6 | 10 | 11,2 | 0,8147 |
| | 11 | 6 | 5,8 | 0,8026 |
| | 21 | 7 | 7,8 | 0,8132 |
| Kreisförmige Oeffn. von 3 Z. Durchm. mit 8 zolliger cylindr. Ansatzröhre. | 6 | 8 | 6,1 | 0,8402 |
| | 11 | 8 | 9,2 | 0,8463 |
| | 21 | 9 | 8,0 | 0,8416 |
| Quadratische 2 zollige Oeffnung mit 8 Zoll langer Röhre. | 6 | 8 | 8,0 | 0,8414 |
| | 11 | 7 | 4,5 | 0,8382 |
| | 21 | 8 | 11,6 | 0,829.. |
| Kreisförmige 2 zollige Oeffnung mit 8 zolliger Röhre. | 6 | 8 | 9,2 | 0,8233 |
| | 11 | 10 | 2,7 | 0,8253 |
| | 21 | 8 | 4,6 | 0,8230 |

**Werkes von Michelotti mitgetheilten Versuche geben nahe dieselben Resultate.**

| | Druckhöhe. | | | Beobachtete Wassermenge. |
|---|---|---|---|---|
| Quadr. 1 zoll. Oeffnung | 6′ | 8″ | 9,2‴ | 0,8008 |
| mit 8 zoll. Röhre. | 21 | 8 | 6,1 | 0,7944 |
| Kreisförmige 1 zoll. Oeffnung | 6 | 9 | 8,0 | 0,7754 |
| nung mit 8 zoll. Röhre. | 21 | 9 | 7,1 | 0,7983 |
| 3 zollige quadrat. Oeffnung, | 6′ | 7″ | 8‴,4 | 0,9283 |
| nung, inwendig mit cy- | 11 | 8 | 7,7 | 0,921.. |
| kloidischem Ansatze[1]. | 21 | 6 | 8,6 | 0,941.. |
| Dieselbe mit dem cykloid. | 6 | 10 | 2,5 | 0,9499 |
| Ansatze und auſsen mit | 11 | 9 | 2,2 | 0,9626 |
| einer 8 zolligen Röhre. | 21 | 8 | 6,9 | 0,9566 |

Michelotti bemerkt, daſs die Länge der Ansatzröhre von 8 Zoll nicht für alle Oeffnungen gleich vortheilhaft zu Vermehrung der Quantität des ausflieſsenden Wassers sey, und Eytelwein hat diesen Einfluſs, welchen die Länge der Röhre hat, noch genauer untersucht. Gab er einer bloſsen cylindrischen Ansatzröhre verschiedene Längen, so nahm bei geringer Länge derselben die Wassermenge zu, bei gröſserer Länge wieder ab; ohne Ansatzröhre und ohne Einmündung = 0,6176

mit 3 Zoll langer Ansatzröhre = 0,8211
- 12 - - - - - - - - = 0,7655
- 36 - - - - - - - - = 0,6804
- 60 - - - - - - - - = 0,6024

Brachte Eytelwein, so wie oben erwähnt ist, innen die Einmündungsröhre als Nachahmung der Form des zusammengezogenen Strahles und zugleich nach auſsen die sich erweiternde Röhre an, so war die Wassermenge:

ohne zwischengesetzte Röhre = 1,5526
bei 3 Zoll langer zwischenges. Röhre = 1,3362
- 12 - - - - - - - - - - - - = 1,1051
- 24 - - - - - - - - - - - - = 0,9798
- 36 - - - - - - - - - - - - = 0,9073

1 Der Durchmesser des die Cykloide erzeugenden Kreises war = 18 Lin. = dem halben Durchmesser der Oeffnung. Nahm man statt dessen einen cykloidischen Ansatz, dessen erzeugender Kreis = 24 Lin. Durchmesser hatte, so war die Wassermenge noch etwas gröſser.

Digitized by Google

Die neuesten, mir bekannten, Untersuchungen über den Ausfluſs des Wassers aus kleinen Oeffnungen sind von Hachette angestellt[1]. Er fand, daſs die Zusammenziehung des Strahles beim Ausströmen aus Oeffnungen in dünnen Wänden bei sehr kleinen Oeffnungen weniger beträgt, als bei etwas gröſsern, so daſs man bei Oeffnungen von 1 Millimeter Durchmesser den Querschnitt des zusammengezogenen Strahles = 0,69, bei Oeffnungen von 0,55 Millimeter Durchmesser = 0,77 setzen könne, bei Oeffnungen von 10 Millimetern Dnrchmesser sey er 0,60 bis 0,63. Dieser Unterschied ist vermuthlich daraus zu erklären, daſs bei sehr engen Oeffnungen die Dicke der Wand des Gefäſses mehr Einfluſs hat, und schon einer kleinen Ansatzröhre ähnlich wirkt, wenn auch diese Dicke so geringe ist, daſs sie bei gröſsern Oeffnungen noch keine solche Einwirkung äuſsert. Indeſs gaben die Versuche nicht immer genau einerlei Resultate. Die Form der Oeffnung hatte bei Gleichheit des Inhalts keinen erheblichen Einfluſs auf die Menge des ausflieſsenden Wassers, wenn die Umfangslinie nicht einwärts gehende Winkel hatte. Diese einwärts vorspringenden Winkel geben dem Strahle eine Kante, die zunächst an der Oeffnung durch zwei eine Höhlung bildende, weiterhin durch zwei einen Vorsprung bildende Flächen gebildet wird. Ueberhaupt geben zwei geradlinige Seiten der Oeffnung nicht dem Strahle zwei ebene Seiten, sondern da die Contraction in dem schmalern Zwischenraume an der Spitze eines gewöhnlichen Winkels geringer ist, als da wo der Zwischenraum gröſser wird, so erhält der Strahl statt zweier ebener Oberflächen zwei convexe Flächen.

Wenn man an die Oeffnung eine kurze Ansatzröhre fügt, so vermehrt diese die Ausfluſsmenge nur dann, wenn sie aus einer Materie ist, die von der ausflieſsenden Flüssigkeit benetzt wird. Bei sehr kleinem Durchmesser der Ansatzröhre und einer nur irgend erheblichen Länge nimmt dagegen die Ausfluſsmenge, wegen des Widerstandes in der Röhre sehr ab; und ein Haarröhrchen giebt bei gröſserer Länge nur ein Hervordringen in einzelnen Tropfen; je geringer der Druck ist, desto eher tritt dieser Umstand ein.

Hachette behauptet ferner, daſs bei abnehmender Druckhöhe die Contraction sich sehr bedeutend vermindere, nämlich

1 Ann. de Chim. et de Phys. I. 202. III. 78.

bei 27 Millimeter Durchmesser der Oeffnung sey der Querschnitt des zusammengezogenen Strahls =0,60 gewesen für 150 Millimeter Druckhöhe, dagegen = 0,69 für 16 Millimeter. Ich muſs gestehen, daſs mir diese Schlüsse aus Versuchen, so sehr im Kleinen angestellt, nicht sehr überzeugend scheinen und daſs ich den ältern Versuchen hier mehr Vertrauen zu schenken geneigt bin. Bemerkenswerth ist indeſs Hachette's Erfahrung, daſs bei starkem Drucke die Ansatzröhren nicht mehr vom Wasser benetzt werden und daher ihre Wirksamkeit aufhört.

Wenn die Druckhöhe sehr klein wird, so nimmt der Strahl eine andere Form an, als vorher und zuletzt kommen statt eines susammenhängenden Strahls nur noch Tropfen hervor.

Das Phänomen der Zusammenziehung des Strahls findet auch beim Quecksilber statt; das Verhältniſs des Querschnitts des zusammengezogenen Strahls zur Oeffnung in einer dünnen Wand ist so, wie beim Wasser. Ein eisernes Röhrchen bewirkte in dem Ausflusse des ganz reinen Quecksilbers keine Veränderung, die Ausfluſsmenge blieb, wie bei der Oeffnung in einer dünnen Wand; war aber die Röhre im Innern mit einem Zinn-Amalgam bestrichen, so verminderte sich die Zusammenziehung des Strahls, so wie es beim Wasser mit Hülfe gläserner Ansatzöhren der Fall ist. Eben so konnte man beim Wasser den Einfluſs der Ansatzröhre aufheben, wenn ihre Wände mit Wachs überzogen waren und das Wasser also nicht anzogen.

Oel flieſst wegen seiner unvollkommenen Flüssigkeit langsamer als Wasser aus, und zwar so, daſs bei einer Oeffnung von 1 Millimeter Durchmesser in gleichen Zeiten nur etwa ein Drittheil soviel Oel als Wasser ausflieſst.

Bei Hachette's Versuchen im luftleeren Raume, wo nämlich das Wasser in einen mit sehr verdünnter Luft gefüllten Raum floſs, ist das besonders auffallend, daſs er da den Strahl, wegen der durch den Druck der Luft stark vermehrten Geschwindigkeit, sich von den Wänden der Ansatzröhre trennen sah, wobei dann die Ausfluſsmenge sich so verminderte, wie es ohne Ansatzröhre der Fall seyn würde. Dieses dient der oben angeführten Behauptung, daſs jeder zu starke Druck die Wirkung der Ansatzröhre aufhebe, zu einiger Bestätigung.

Als eine eigne Classe von Versuchen verdienen hier noch die von Gerstner erwähnt zu werden, wobei die Geschwindigkeit, welche das Wasser in engen Röhren bei ungleicher

Digitized by Google

Wärme annimmt, bestimmt wurde. Diese Versuche zeigten, was schon Lichtenberg in einem Briefe an de Lüc [1] bemerkt hatte, daſs mit der Wärme auch die Flüssigkeit des Wassers zunehme. Bei Lichtenberg's Versuchen zeigte sich dieses dadurch, daſs warmes Wasser beim Auströpfeln mehr Tropfen als kaltes gab; bei Gerstner's Versuchen zeigte es sich durch vermehrte Schnelligkeit des Ausflusses [2]. Das folgende Täfelchen enthält die Resultate einiger dieser Versuche.

| Höhe des Wasserstandes in Paris. Zoll. | Wärme in Réaum. Graden. | Geschwindigkeit des ausflieſs. Wassers in Paris. Zoll. | Abmessung der Röhren in Paris. Lin. u. Zollen. |
|---|---|---|---|
| 10,7 | 30 | 16,2 | Durch eine $\frac{4}{5}$ Lin. weite, 33 Zoll lange Röhre. |
| | 4 | 7,8 | |
| 3,7 | 30 | 6,0 | |
| | 4 | 2,8 | |
| 10,7 | 40 | 26,6 | Durch eine $\frac{8}{6}$ Lin. weite, 33 Zoll lange Röhre. |
| | 4 | 25,1 | |
| 3,7 | 40 | 15,8 | |
| | 4 | 10,0 | |
| 10,7 | 30 | 38,4 | Durch eine $\frac{5}{6}$ Lin. weite, 9,7 Zoll lange Röhre. |
| | 4 | 28,4 | |
| 3,7 | 30 | 20,2 | |
| | 4 | 11,8 | |
| 10,7 | 40 | 48,7 | Durch eine $\frac{10}{7}$ Lin. weite, 9,7 Zoll lange Röhre. |
| | 4 | 44,0 | |
| 3,7 | 40 | 27,2 | |
| | 4 | 22,7 | |
| 10,7 | 40 | 25,7 | Durch eine $\frac{12}{5}$ Lin. weite, 63 Zoll lange Röhre. |
| | 2½ | 23,7 | |
| 3,7 | 40 | 14,7 | |
| | 2½ | 12,2 | |

Der Unterschied wird am auffallendsten da, wo eine enge und ziemlich lange Röhre durch den Widerstand der Wände die Geschwindigkeit sehr vermindert.

Ehe ich diese Versuche über den Ausfluſs des Wassers aus kleinen Oeffnungen und aus Röhren verlasse, mag hier noch ein interessanter Versuch Düfay's [3] Platz finden. Dieser lieſs, veranlaſst durch einen von Varignon angestellten Versuch, reines

1 de Lüc neue Ideen über die Meteorol. I. 147.
2 G. V. 170.
3 Mém. de Paris. 1726. p. 191.

Wasser und eine gefärbte Flüssigkeit durch zwei sich durchkreuzende Röhren laufen und fand hierbei folgenden merkwürdigen Erfolg. Es wurden aus zwei Gefäſsen, deren eines mit Wasser, das andere mit rothem Weine oder einer andern stark gefärbten Flüssigkeit gefüllt war, die Röhre zum Abflusse, durchkreuzend,
Fig. 123. so geführt, daſs AB das Wasser, CD die gefärbte Flüssigkeit aufnahm. Lieſs man dann durch gleichzeitig geöffnete Hähne beide Flüssigkeiten zugleich und mit gleicher Geschwindigkeit eintreten, so floſs das Wasser fast ganz rein durch BE, und die gefärbte Flüssigkeit eben so unvermischt durch DF aus; die eine Flüssigkeit schien also von der andern abzuprallen. Daſs dieses noch auffallender wurde, wenn der Theil ABE von dem Theile CDF durch eine horizontale Verbindungsröhre getrennt war, läſst sich hiernach wohl erwarten; diese Verbindungsröhre füllte sich etwa zur halben Länge mit einer, und zur halben Länge mit der andern Flüssigkeit.

An diese Versuche mag sich zunächst die theoretische Bestimmung der Geschwindigkeit des aus kleinen Oeffnungen flieſsenden Wassers anschlieſsen. Sie beruht auf der Ueberlegung, daſs der, durch die Wasserhöhe dargestellte Druck, als bewegende Kraft, proportional seyn muſs dem Producte aus der bewegten Masse in die Geschwindigkeit. Also wenn die Gröſse der Oeffnung $= ff$, Druckhöhe $= h$, Geschwindigkeit $= v$, hervordringende Masse $= v\ ff$ ist, $ff.h = m.ff.vv$ seyn muſs.

Da diese Betrachtung nachher noch gründlicher abgeleitet vorkommt, so will ich hier nur kurz bemerken, daſs man $m = \frac{1}{4g}$ findet, wenn g den Raum des freien Falls in der ersten Sec. bedeutet. Es ist also $v = 2.\sqrt{g.h}$ oder so groſs, als die Geschwindigkeit, die ein von der Höhe $= h$ frei herabfallender Körper erlangt.

Diese Formel $v = 2\sqrt{gh}$, welche die Ausfluſsmenge $= ff.v$ giebt, wenn man für ff den Querschnitt des zusammengezogenen Strahls setzt, läſst sich auch mit ziemlicher Genauigkeit auf gröſsere Oeffnungen anwenden. Hier müſste man offenbar, wenn eines bestimmten Punctes der Oeffnung Tiefe unter der Oberfläche $= x$, die hier statt findende Breite der Oeffnung $= y$ ist, $y\,dx$ als Querschnitt desjenigen Theiles der Oeffnung in welcher die Geschwindigkeit $= 2\sqrt{gx}$ ist, ansehen, und $2\sqrt{g}.\int y x^{\frac{1}{2}} dx$ gäbe für die ganze Oeffnung genommen,

Digitized by Google

die Wassermenge. Wenn y eine Function von x ist, so fordert die Integration oft Entwickelungen, die hier, wo analytische Rechnungen zu erörtern nicht die Absicht ist, zu weitläuftig seyn würde; ich setze daher nur für die rechtwinkliche Oeffnung mit horizontalen und verticalen Seitenlinien $y = a$, und nehme an, die obere Seite der Oeffnung liege in der Tiefe $= h$, die untere in der Tiefe $= h + b$, dann ist jenes Integral zwischen den richtigen Grenzen genommen

$$= \tfrac{2}{3} a \sqrt{g} \cdot \left\{ (h+b)^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}} \right\}$$

also ziemlich nahe $= 2 a \sqrt{g} \left\{ h^{\frac{1}{2}} . b + \tfrac{1}{4} \frac{b^2}{\sqrt{h}} - \tfrac{1}{24} \frac{b^3}{\sqrt{h^3}} \right\}$

$$= 2 a b \sqrt{gh} \left\{ 1 + \tfrac{1}{4} \frac{b}{h} - \tfrac{1}{24} \frac{b^2}{h^2} \right\};$$

hätte man dagegen angenommen, es sey für die ganze Oeffnung $= a b$, die Geschwindigkeit so groſs als es der mittleren Tiefe angemessen ist, $= 2 \sqrt{g (h + \tfrac{1}{2} b)}$, so wäre die Wassermenge

$$= 2 a b \sqrt{g} . \sqrt{(h + \tfrac{1}{2} b)}$$
$$= 2 a b \sqrt{g h} \left\{ 1 + \tfrac{1}{4} \frac{b}{h} - \tfrac{1}{32} \frac{b^2}{h^2} \right\}.$$

Dieser Ausdruck giebt schon keine erhebliche Abweichung von dem vorigen, wenn auch $b = \tfrac{1}{10} h$ wäre, und bei gröſsern Werthen von b wird man ohnehin, wegen der dann entstehenden Unregelmäſsigkeit des Ausflusses, keine strenge Rechnung mehr führen können, indem bei allzu geringer Höhe des Wassers über der Oeffnung, die Oberfläche eine trichterförmige Vertiefung zeigt. Hierher gehört dann auch die Frage, wie man rechnen muſs, wenn das Gefäſs sich allmählig ausleert. Es sey die Oeffnung klein $= f f$ und $\varphi^2$ gebe den Querschnitt des Gefäſses an der Stelle an, wo sich eben jetzt die allmälig sinkende Oberfläche befindet. Heiſst dann x die Tiefe der Oeffnung unter der Oberfläche, so ist bei einem Sinken der Oberfläche $= dx$, die fortgeflossene Quantität $= \varphi^2 . dx$; eben diese ist aber auch, (wegen des Ausfluſsgeschwindigkeit $= 2 \sqrt{gx}$) $= 2 f^2 . \sqrt{gx} . dt$ in der Zeit $= dt$, und folglich $dt = \frac{-\varphi^2}{2 f^2} . \frac{dx}{\sqrt{gx}}$, negativ, weil x abnimmt, das ist

$t = \text{Const.} - \frac{\varphi^2}{f^2} \sqrt{\frac{x}{g}}$ für ein constantes $\varphi^2$.

War also für $t=0$, die Höhe $x=h$, so ist allgemein $t=\frac{\varphi^2}{f^2}\left(\frac{\sqrt{h}-\sqrt{x}}{\sqrt{g}}\right)$. Dürfte man diese Formel anwenden, bis $x=0$ würde, oder bis alles Wasser ausgeflossen ist, so wäre die Zeit der Ausleerung $=\frac{\varphi^2}{f^2}\sqrt{\frac{h}{g}}$, und in dieser Zeit wäre die Wassermenge $=\varphi^2.h$ ausgeflossen, da das Gefäſs als überall gleich weit vorausgesetzt wurde. Hätte man die Höhe $=h$ immer unverändert erhalten, so wäre die Geschwindigkeit $=2\sqrt{gh}$ und die Ausfluſsmenge während der Zeit $=\frac{\varphi^2}{f^2}\sqrt{\frac{h}{g}}$ wäre $=2f^2.\sqrt{gh}.\frac{\varphi^2}{f^2}\sqrt{\frac{h}{g}}=2\varphi^2h$ doppelt so groſs als vorhin.

Die Berechnung der aus gegebenen Gefäſsen bei gegebener Höhe und Oeffnung ausflieſsenden Wassermenge findet mannigfaltige Anwendung. Die Fälle, wo man die Druckhöhe wählen und sie daher so bestimmen kann, daſs eine Wassermenge, so groſs, als ein gewisser Zweck sie fordert, ausflieſse, oder wo man die Gröſse der Oeffnung der geforderten Wassermenge gemäſs festsetzen soll, oder wo man nach gegebenen Verhältnissen einen bestimmten Wasservorrath unter mehrere Ausfluſsöffnungen vertheilen soll, lieſse sich ihren Gründen nach leicht übersehen[1]. Wie fern die Anordnung der *Springbrunnen* von den hier betrachteten Gesetzen abhängt, wird in einem eigenen Artikel gezeigt. Ich will daher nur bei den Anwendungen auf die Pumpen und auf den Heber einen Augenblick verweilen.

Bei der Druckpumpe kommt die Frage vor, mit welcher Geschwindigkeit des Wassers die aus der Röhrenmündung A, deren Höhe $=h=AD$ oberhalb der Grundfläche des Kolbens gegeben ist, ausflieſst. Hier giebt man das auf B C drückende Gewicht $=P$, welches den Kolben nieder treibt, durch die Höhe einer Wassersäule $=H=\frac{P}{f^2}$ an, wenn $f^2$ der Querschnitt des Cylinders ist; die Ausfluſsgeschwindigkeit gehört dann der Höhe $=H-h$ zu, wenn man bei der Bestimmung von H schon auf Reibung und andere Hindernisse Rücksicht genommen hat[2].

1 Prony sur la mesure appellée pouce du fontainier. Ann. de Phys. et Chim. III. 241.

2 Vergl. Art. *Druckpumpe*.

Digitized by Google

Bei der Saugpumpe ist die vorzüglich hieher gehörende Frage die, wie schnell das durch die Oeffnung am untern Ende der Saugröhre hinaufsteigende Wasser ausflieſst, und wie schnell daher der Kolben sich bewegen muſs, um dem eintretenden Wasser kein Hinderniſs in den Weg zu stellen. Dabei muſs dann der Druck der Luft auf die auſsen stehende Wasserfläche als von der einen Seite wirkend, die schon gehobene Wassersäule mit dem Drucke der verdünnten Luft vereinigt, als von der andern Seite wirkend, in Betrachtung gezogen werden. Auſserdem kommt auch noch die Rücksicht auf die etwas veränderte Ausfluſsmenge in dem Falle, wenn der Strahl in eine Wassermasse eintritt, hier vor.

Beim Heber hängt die Bestimmung der ausflieſsenden Wassermenge von folgender Ueberlegung ab. Ist einmal das ganze Heberrohr gefüllt, und es ist der Druck der Luft einer Wassersäule von der Höhe $= k$ gleich, so findet in A bloſs der Druck der Atmosphäre $= k$ statt; in B', wenn die verticale Höhe $BC = h$ ist, hat man den Druck $= k - h$, in D würde der Fig.
Druck, wenn $BE = h'$ heiſst, $= k - h + h'$ seyn, oder durch 125.
eine so hohe Wassersäule dargestellt werden, wenn D sich im luftleeren Raume befände; im gewöhnlichen Falle wirkt aber der Druck der Luft $= k$ in D, fast genau so stark als in A, entgegen, und $h' - h = CE$ ist also die der Ausfluſsgeschwindigkeit zugehörige Druckhöhe, die durch den Widerstand in den Röhren noch um etwas vermindert wird.

Dieser Widerstand, welchen das Wasser beim Fortflieſsen in längeren Röhren leidet, würde ebenfalls einen besondern Gegenstand der Hydrodynamik ausmachen; da sich aber darüber so wenig theoretisch Begründetes sagen läſst, so übergehe ich diesen Gegenstand gänzlich[1].

Eben so wenig leistet die Theorie in Beziehung auf die Bewegung des Wassers in offenen Canälen und in Strömen. Selbst die Frage, welche Gestalt die Oberfläche des Wassers

---

1 Um so mehr, da im Art. *Druckpumpe* etwas hierher Gehöriges vorkommt. Vergl. Büat Grundlehren der Hydraulik. Prony récherches sur la théorie des eaux courantes — nd einige theoretische Untersuchungen in Euler's Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper. S. 369. endlich G. XXXIV. 157.

Digitized by Google

annimmt, wenn dieses aus einem oben offenen Einschnitte in der Wand des Gefäſses hervordringt, ist theoretisch noch gar nicht, und auch praktisch wohl nicht genügend beantwortet. Eytelwein's Versuche[1] geben allerdings einige Aufschlüsse, und Poncelet hat die Gestalt der Oberfläche noch genauer bestimmt, indem er von einem horizontalen Brette dünne Stäbchen bis auf die gekrümmte Oberfläche herabreichen lieſs, und so Abscissen und Ordinaten derselben erhielt[2].

Die Fragen, wie in Strömen die Geschwindigkeit vom Gefälle abhängt, wie und nach welchen Gesetzen sie in den verschiedenen Höhen über dem Boden verschieden ist u. s. w. sollte eigentlich die Hydrodynamik beantworten; aber man ist bis jetzt noch nicht dahin gelangt, das, was die Versuche lehren, unter allgemeine Gesetze zu bringen[3].

Alle diese Lehren sind vorzüglich deswegen einer theoretisch strengen Entwickelung nicht fähig, weil erstlich das Gesetz der Stetigkeit hier so oft verletzt wird, und zweitens sich andere Hindernisse der Bewegung einmischen, die sich nicht genau bestimmen lassen. Bei dem Ausflusse aus Gefäſsen zum Beispiel ist der plötzliche Uebergang vom weiten Gefäſse zur sehr engen Oeffnung ein ganz vom Gesetze der Stetigkeit abweichender Umstand, beim Ueberstürze über ein Wehr oder beim Hervorstürzen aus einem oben offenen Einschnitte in die Wand, bei den Krümmungen der Röhren, Canäle und Ströme, bei ihren unregelmäſsigen Verengerungen u. s. w. findet eben das statt. Der Widerstand, den die Bewegung an den Röhrenwänden und an der Oberfläche des Fluſsbettes leidet, lieſse sich noch eher als eine Function der Geschwindigkeit, wenigstens mit Hülfe von Versuchen bestimmen, obgleich auch da eine neue Schwierigkeit dadurch entsteht, daſs jedes, auch nicht die Wand berührende Theilchen von dem benachbarten, langsamer flieſsenden aufgehalten wird. Eben jene Schwierigkeit, die aus den Abweichungen vom Gesetze der Stetigkeit hervorgeht, fin-

---

1 Mechanik und Hydraulik. S. 140.

2 Dupin bezieht sich auf Poncelet's Abh. im Bulletin de la Société d'encouragement etc. ohne den genauen Ort anzugeben. Dupin Geom. und Mechan. d. Künste und Handw. III. 233.

3 Die hieher gehörigen Versuche werden im Art. *Strom* erwähnt werden.

det sich auch bei dem Stoſse flüssiger Körper gegen feste, und bei dem Widerstande, den feste Körper bei ihrer Fortbewegung in flüssigen leiden. Bis jetzt wenigstens ist unsere Theorie noch nicht im Stande, die Wege der einzelnen Wassertheilchen, deren regelmäſsiger Fortgang durch den festen Körper unterbrochen wird, zu bestimmen, und wir müssen uns daher begnügen, den Stoſs so zu berechnen, als ob dem flüssigen Theilchen, bei einer der Richtung seiner Bewegung senkrecht entgegengestellten Ebene, alle Bewegung geraubt würde, bei einer Ebene, welche dieser Bewegung geneigt entgegengestellt ist, wird der bei der Zerlegung senkrecht gegen die Ebene gerichtete Theil der Bewegung, als völlig zerstört, angesehen. Da indeſs diese Gegenstände einer Entwickelung, abgesondert von den allgemeinen Principien der Hydrodynamik empfänglich sind, so verweise ich auf die Artikel: *Stoſs flüssiger Körper an feste*, und *Widerstand*.

Die Oscillationen des Wassers in verbundenen Röhren, wo es in der einen sinkt, wenn es in der andern steigt, sind mehr zu einer theoretischen Darstellung geeignet, und werden nachher vorkommen. Ist aber diese Oscillation mit einem Durchgange durch enge Oeffnungen oder engere Röhrentheile verbunden, oder wird die Bewegung sogar zuweilen plötzlich gehemmt, oder genöthigt, eine andere Richtung anzunehmen, so wie es beim Stoſsheber[1] der Fall ist, so fällt wieder die Möglichkeit einer strengen Theorie weg.

Endlich muſs ich noch die Rückwirkung, welche aus der Bewegung des ausflieſsenden Wassers entsteht, erwähnen. Flieſst das Wasser durch eine Seiten-Oeffnung des Gefäſses aus, so ist der Druck auf die der Oeffnung gegenüberstehenden Wand nicht durch einen Gegendruck ausgeglichen und das Gefäſs erhält ein Bestreben, nach der Richtung, welche der Ausfluſsbewegung entgegen gesetzt ist, fort zu gehen. Es sey nämlich ABCD ein Gefäſs, dem ich hier verticale, parallele Wände Fig.
zueignen will. In e sey eine, für jetzt noch mit einem Deckel 126
geschlossene Oeffnung, so ist der horizontale Druck auf das ganze Gefäſs $=0$, und namentlich wird der Druck auf e durch den genau eben so starken Druck auf das gegenüberstehende Wandstück f aufgehoben. Wird aber dann e geöffnet, so dauert

1 S. Art. *Stoſsheber*.

der Druck in f fort, während er in e nicht mehr statt findet, und das Gefäſs leidet also nach der Richtung fg einen Druck, der es zum Ausweichen oder zur Fortbewegung bringen kann, wenn es leicht genug aufgehängt ist, um diesem Drucke Folge zu leisten. Man pflegt, um diese Rückwirkung zu zeigen, das Gefäſs an einem horizontalen Arme so zu befestigen, daſs dieser eine gegen fe senkrechte Richtung hat; ist dann dieser Arm mit seinem andern Ende an einer sehr leicht drehbaren verticalen Axe befestiget, so wird das Gefäſs, während das Wasser bei e ausflieſst, sich um diese Axe drehen. Auf diese Rückwirkung ist die Anordnung des *Segner'schen Wasserrades* und der *Barker'schen Mühle* gegründet[1]. Der Druck, welcher hier, der Oeffnung gegenüber, nicht compensirt wird, ist die bewegende Kraft, deren Wirkung sich den allgemeinen Gesetzen der Drehungsbewegung gemäſs bestimmen läſst.

Auf eben dieser Rückwirkung beruht das Zurückprallen der Kanonen beim Abfeuern. Selbst ohne eingeladene Kugel findet dieses statt, weil der mit Gewalt hervordringende Strom elastischer Flüssigkeiten einen eben solchen Druck auf die übrigen Wände, wie das Wasser, während des Ausströmens, ausübt. Nach Hutton's Versuchen nimmt der Rückstoſs (recul) in stärkerm Maſse als die Pulverladung zu, wenn keine Kugel eingeladen ist, so daſs unter sonst gleichen Umständen bei 2 Unzen Ladung der Rückstoſs $2\frac{1}{2}$ Zoll, bei 16 Unzen Ladung 28 Zoll betrug. Ist die Kanone mit einer Kugel geladen, so kommt zu dieser Rückwirkung noch diejenige, welche der Masse der Kugel proportional ist; wird eine Kugel von 1 Pfunde mit der Geschwindigkeit $= c$ fortgestoſsen, so weicht die m Pfunde schwere Kanone mit einer Geschwindigkeit $= \frac{1}{m} c$ zurück, die sich mit jener Geschwindigkeit des Rückstoſses vereinigt. Daſs der Rückstoſs gröſser ist, wenn man, bei gleicher Ladung, sich längerer Kanonen bedient, hängt offenbar davon ab, daſs der ganze Rückstoſs so lange dauert, bis die elastischen Flüssigkeiten sich aus der Mündung hinaus ergossen haben, und daſs bei der, mit gröſserer Länge der Kanonen verbundenen längern Dauer der Wirkung auch der gesammte Rückstoſs zunimmt[2].

1 S. *Wasserrad, Segner's.*

2 Hutton's exper. d'artillerie, p. 133. der franz. Uebers. v. Villantroys.

Digitized by Google

Die Bewegung der Raketen, vielleicht auch die Bewegung der meteorischen Feuerkugeln, hängt eben hiervon ab.

## 2. Entwickelung der Grundformeln der Hydrodynamik, und Anwendung derselben.

Es sey für irgend ein Theilchen des Flüssigen die Lage durch Coordinaten x; y; z; gegeben, auf dieses wirken beschleunigende Kräfte X; Y; Z; mit den Richtungen dieser Coordinaten parallel, und diese Kräfte nehme man, als Functionen des Orts, als gegeben an. Am Ende der Zeit = t sey die Geschwindigkeit des Theilchens so, daſs die Zerlegung nach jenen Hauptrichtungen u; v; w; als die drei den Coordinaten parallelen Geschwindigkeiten giebt. Diese Geschwindigkeiten sind Functionen der vier Gröſsen x; y; z; t; weil in demselben Augenblicke die Geschwindigkeiten in verschiedenen Puncten sehr ungleich seyn können, und weil sie in einem bestimmten Puncte des Raums im Fortgange der Zeit Aenderungen erleiden können.

Fassen wir nun ein bestimmtes Wassertheilchen ins Auge, dessen Lage durch x; y; z; am Ende der Zeit = t bestimmt wurde, so sind am Ende der Zeit = t + dt die Coordinaten dieses Theilchens offenbar = x + udt; y + vdt; z + wdt; um also die vollständigen Werthe der Aenderung der Geschwindigkeiten für ein und dasselbe Theilchen zu haben, muſs man in den allgemeinen Werth

$$du = \left(\frac{du}{dx}\right) dx + \left(\frac{du}{dy}\right) dy + \left(\frac{du}{dz}\right) dz + \left(\frac{du}{dt}\right) dt$$

setzen

$$du = \left(\frac{du}{dx}\right) udt + \left(\frac{du}{dy}\right) vdt + \left(\frac{du}{dz}\right) wdt + \left(\frac{du}{dt}\right) dt,$$

und eben so ist

$$dv = \left(\frac{dv}{dx}\right) udt + \left(\frac{dv}{dy}\right) vdt + \left(\frac{dv}{dz}\right) wdt + \left(\frac{dv}{dt}\right) dt;$$

$$dw = \left(\frac{dw}{dx}\right) udt + \left(\frac{dw}{dy}\right) vdt + \left(\frac{dw}{dz}\right) wdt + \left(\frac{dw}{dt}\right) dt.$$

Digitized by Google

Dem Wassertheilchen legen wir die Form eines Parallelepipedi bei, so daſs, wenn D seine Dichtigkeit bedeutet, seine Masse $= D . dx\, dy\, dz$ ist. Den Druck, den dieses Theilchen leidet, bezeichnen wir mit p und verstehen darunter den Druck auf eine Oberfläche, deren Gröſse $= 1$ ist, so daſs der vollständige Ausdruck für den auf die Fläche $= f$ wirkenden Druck $p . f^2$ ist. Dieser Druck ist eine bewegende Kraft, und er giebt daher, mit der Masse des Theilchens, worauf er wirkt, dividirt, einen Beitrag zu der auf das Theilchen wirkenden beschleunigenden Kraft. Hier, wo wir doch fast nur auf die Wirkungen der Schwere Anwendungen machen können, wird es am Besten seyn, die Schwerkraft als Einheit der beschleunigenden Kräfte anzusehen, und da diese in der Zeit $= dt$ die Geschwindigkeit $= 2g\,dt$ hervorbringt, durch $2gX\,dt$ die Geschwindigkeit anzuzeigen, welche die Kraft X in der Zeit $dt$ bewirkt.

Es ist nun leicht zu übersehen, daſs in dem Puncte, welcher durch $x, y, z$, bestimmt ist, der Druck $= p$, in dem durch $x + dx, y, z$, bestimmten Puncte $= p + \left(\frac{dp}{dx}\right) dx$ ist, und daſs daher die nach der Richtung x wirkende Pressung auf die Seitenfläche $dy . dz$ durch $p\,dy\,dz$ nach der einen Richtung, durch $p\,dy\,dz + \left(\frac{dp}{dx}\right) dx\,dy\,dz$ nach der entgegengesetzten Richtung angegeben wird. So ist also die nach der Richtung der x wirkende gesammte beschleunigende Kraft $= X - \left(\frac{dp}{dx}\right) . \frac{1}{D}$, und da sie die Aenderung $= du$ der Geschwindigkeit u hervorbringt, so ist $2gX - 2g\left(\frac{dp}{dx}\right)\frac{1}{D} = \frac{du}{dt}$.

Eben die Betrachtungen gelten für die zwei übrigen Coordinaten, so daſs sich folgende drei Gleichungen ergeben.

$$2g\left(\frac{dp}{dx}\right) = D\left\{2gX - \left(\frac{du}{dt}\right) - u\left(\frac{du}{dx}\right) - v\left(\frac{du}{dy}\right) - w\left(\frac{du}{dz}\right)\right\};$$

$$2g\left(\frac{dp}{dy}\right) = D\left\{2gY - \left(\frac{dv}{dt}\right) - u\left(\frac{dv}{dx}\right) - v\left(\frac{dv}{dy}\right) - w\left(\frac{dv}{dz}\right)\right\};$$

Digitized by Google

$$2g\left(\frac{dp}{dx}\right)=D\left\{2gZ-\left(\frac{dw}{dt}\right)-u\left(\frac{dw}{dx}\right)-v\left(\frac{dw}{dy}\right)\right.$$
$$\left.-w\left(\frac{dw}{dz}\right)\right\}.$$

Wenn D eine überall und zu aller Zeit gleiche Gröſse ist, so sind hier nur vier Gröſsen, u ; v ; w ; p ; als Functionen von x ; y ; z ; t ; zu bestimmen ; denn die an jedem Puncte wirksamen beschleunigenden Kräfte sind entweder gegebene Functionen des Ortes, oder können allenfalls auch Functionen der Geschwindigkeit, also durch u ; v ; w ; ausgedrückt seyn, müssen aber gegeben seyn, wenn überhaupt eine Bestimmung der Bewegung statt finden soll. Um diese vier Gröſsen zu bestimmen, sind jene drei Gleichungen, die sich übrigens in *eine*, ihnen gleichgeltende, zusammenfassen lassen, gegeben, und man findet noch eine vierte, die ich sogleich entwickeln will, und durch welche die Bestimmungen in hinreichender Zahl dargeboten werden. Da hier bloſs von flüssigen Körpern die Rede ist, deren Dichtigkeit sich nicht ändert, so muſs jedes Theilchen, dessen Volumen am Ende der Zeit $=t$ durch $dx\,.\,dy\,.\,dz$ ausgedrückt war, auch nach Verlauf der Zeit $t+dt$ noch eben so groſs an Volumen gefunden werden. Da nun des Punctes, der durch x ; y ; z ; bestimmt ist, Geschwindigkeit mit x parallel $=u$ heiſst, so wird des durch $x+dx$ ; y ; z ; bestimmten Punctes Geschwindigkeit nach eben der Richtung $=u+\left(\frac{du}{dx}\right)dx$ seyn. Die Dimension $=dx$ des bewegten Theilchens geht also in der Zeit $=dt$ in $dx+\left(\frac{du}{dx}\right)dx\,.\,dt$ über, und da eine ähnliche Bestimmung für die beiden übrigen Dimensionen statt findet, so ist das Volumen dieses Theilchens in der Zeit $=dt$ in

$$dx\,.\,dy\,.\,dz\left(1+\left(\frac{du}{dx}\right)dt\right)\left(1+\left(\frac{dv}{dy}\right)dt\right)\left(1+\left(\frac{dw}{dz}\right)dt\right)$$

übergegangen, das ist, da nur vom ersten Gliede der Aenderung die Rede seyn kann, in

$$dx\,.\,dy\,.\,dz\left(1+\left(\frac{du}{dx}\right)dt+\left(\frac{dv}{dy}\right)dt+\left(\frac{dw}{dz}\right)dt\right)$$ woraus wegen der Unveränderlichkeit des Volumens $\left(\frac{du}{dx}\right)+\left(\frac{dv}{dy}\right)+\left(\frac{dw}{dz}\right)=0$ folgt, und dieses ist jene vierte Gleichung.

Digitized by Google

Wenn man die drei Gleichungen für die partiellen Differentiale von p in eine Summe bringt, so besteht der Werth von dp, welcher dann so gefunden ist, daſs auf die Veränderlichkeit von t nicht Rücksicht genommen wird, aus zwei Classen von Gliedern, erstlich kommt $D(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz)$ vor, und dieser Theil ist in den meisten Fällen für sich integrabel; er ist es wenigstens dann, wenn die beschleunigenden Kräfte bloſs von Attractionen gegen bestimmte Mittelpuncte, die durch Functionen der Entfernungen ausgedrückt werden, abhängen; und da unsere Methoden noch viel zu unvollkommen sind, um die Fälle, wo auf einen von der Geschwindigkeit abhängigen Widerstand Rücksicht genommen werden sollte, allgemein aufzulösen, so können wir dabei stehen bleiben, jenen ersten Theil als für sich integrabel anzusehen. Daſs dann auch der zweite Theil für sich integrabel seyn muſs, ist bekannt, und unsere theoretische Hydrodynamik würde schon sehr bedeutende Fortschritte gemacht haben, wenn wir nur die unter diese Voraussetzung gehörenden Fälle allgemein behandeln könnten.

Zu diesen, von mehreren Mathematikern auf verschiedenen Wegen abgeleiteten Formeln fügt Cauchy[1] noch folgende, die sich auf sehr geringe Bewegungen beziehen, hinzu. Sieht man nämlich u; v; w; und die Differentialquotienten derselben als unendlich kleine Gröſsen der ersten Ordnung an, so kann man alle Glieder von der Form $u\left(\frac{du}{dx}\right)$ weglassen und

$$\left(\frac{dp}{dx}\right) = D\left\{X - \frac{1}{2g}\left(\frac{du}{dt}\right)\right\};$$

$$\left(\frac{dp}{dy}\right) = D\left\{Y - \frac{1}{2g}\left(\frac{dv}{dt}\right)\right\};$$

$$\left(\frac{dp}{dz}\right) = D\left\{Z - \frac{1}{2g}\left(\frac{dw}{dt}\right)\right\}$$

setzen, woraus in diesem Falle wegen

$$\left(\frac{du}{dx}\right) + \left(\frac{dv}{dy}\right) + \left(\frac{dw}{dz}\right) = 0$$

folgt

$$\left(\frac{d^2p}{dx^2}\right) + \left(\frac{d^2p}{dy^2}\right) + \left(\frac{d^2p}{dz^2}\right) = D\left\{\left(\frac{dX}{dx}\right) + \left(\frac{dY}{dy}\right) + \left(\frac{dZ}{dz}\right)\right\}$$

und da für das Gleichgewicht der Druck = P durch

1 Exercices de Mathematiques 29me Livrais. p. 136.

Digitized by Google

$$dP = D\,(X dx + Y dy + Z dz)$$

gegeben wurde, so ist bei so geringer Störung des Gleichgewichts auch

$$\left(\frac{d^2(p-P)}{dx^2}\right) + \left(\frac{d^2(p-P)}{dy^2}\right) + \left(\frac{d^2(p-P)}{dz^2}\right) = 0.$$

Dieses kann indeſs nur bei höchst geringen Störungen des Gleichgewichts gelten.

Nach Cauchy könnte es zum Beispiel für sehr kleine Wellen-Oscillationen noch angewandt werden, aber selbst da scheint es, da die wirklichen Wellen nicht unendlich klein sind, nur ungenügende Anwendungen zu geben. Angewandt auf elastische Fluida, wo die Formeln etwas anders ausfielen, würde man ähnliche abgekürzte Formeln für die Fortpflanzung des Schalles gebrauchen können.

Um die Anwendung dieser allgemeinen Formeln zu erleichtern, soll man, nach Euler's Bemerkung, sie zuerst auf die linearische, dann auf die ebene Bewegung flüssiger Körper beziehen, und sodann erst zu der allgemeinen Betrachtung zurückkehren. Unter *linearischer* Bewegung muſs man nämlich die verstehen, wo alle Theilchen des Querschnitts eines Gefäſses ganz dieselbe Bewegung haben, und also die Geschwindigkeit bloſs eine Function der Länge der Axe des Gefäſses ist. In ziemlich engen Röhren können wir annehmen, daſs die Bewegung in diesem Sinne linearisch sey, weil die kleinen Seitenbewegungen, welche allerdings bei jeder Verengerung oder Erweiterung der Röhre statt finden müssen, als unbedeutend bei Seite gesetzt werden können. Eine *ebene* Bewegung würde man die nennen, wo, wie in Canälen, die Bewegung zwar in jedem Puncte des Längendurchschnittes verschieden seyn mag, aber alle Theilchen, die in derselben Senkrechten gegen diesen Längenschnitt liegen, genau gleiche Bewegung haben. Ich will von beiden Anwendungen einige Beispiele geben, und dabei bloſs auf die Schwere, die ich als nach der Richtung der negativen z wirkend ansehe, Rücksicht nehmen. Dann ist $X = Y = 0$, $Z = -1$.

## Anwendung auf die linearische Bewegung.

Da wir hier die Bewegung als in einer Röhre von nicht zu groſser Weite statt findend annehmen, so denken wir uns eine Centrallinie, eine die Schwerpuncte aller Querschnitte verbin-

Digitized by Google

dende Linie, und nehmen an, daſs in einem bestimmten Augenblicke die Geschwindigkeit nur von dem Orte, den jedes Theilchen in Beziehung auf diese Längendimension einnimmt, abhänge. Von einem Augenblicke zum andern kann die in demselben Puncte statt findende Geschwindigkeit veränderlich seyn.

Da die Betrachtung ihren wesentlichen Resultaten nach dieselbe bleibt, die Bewegung mag in einer doppelt gekrümmten Röhre statt finden, oder in einer solchen, die in einer Ebene liegt, so theile ich hier nur die einfachere Betrachtung mit, wo die Centrallinie eine ebene Curve ist und sich ganz in der Ebene der x, z befindet. Dann kommen v, y, gar nicht vor.

Fig. 127. Es sey ZVvz ein Theilchen des Flüssigen, $AX = x$; $XY = z$; $VZ = \sigma =$ dem Querschnitte der Röhre. Nennt man nun den Bogen Yy der Centrallinie $= ds$, die Geschwindigkeit nach der Richtung der Röhre $= V$, so ist $u = V.\frac{dx}{ds}$; $w = V\frac{dz}{ds}$, und wenn man $D = 1$ setzt, des Theilchens Masse $= \sigma . ds$. Ist nun dieses Theilchen in der Zeit $= dt$ nach $Z'V'v'z'$ gerückt, so ist $Z'V' = \sigma + u dt . \frac{d\sigma}{dx}$ und

$$Y'y' = \sqrt{\left\{dx^2\left(1+\left(\frac{du}{dx}\right)dt\right)^2 + dz^2\left(1+\left(\frac{dw}{dz}\right)dt\right)^2\right\}}$$

$$= \sqrt{\left\{dx^2 + dz^2 + 2dt\left(\left(\frac{du}{dx}\right)dx^2 + \left(\frac{dw}{dz}\right)dz^2\right)\right\}}$$

$$= ds + \frac{dt}{ds}dx^2\left(\frac{du}{dx}\right) + \frac{dt}{ds}dz^2\left(\frac{dw}{dz}\right).$$

Aber da hier, wegen der bekannten Gestalt der Centrallinie, z eine gegebene Function von x ist, so hat man $z = f:x$, und $\left(\frac{dw}{dz}\right) = \left(\frac{dw}{d.f:x}\right) = \left(\frac{dw}{dx}\right).\frac{1}{f':x} = \left(\frac{dw}{dx}\right)\frac{dx}{dz}$; (wo nämlich $d.f:x = dx.f':x$ gesetzt wird) also $Y'y' = ds + \frac{dt}{ds}\left(dx^2\left(\frac{du}{dx}\right) + dz\,dx\left(\frac{dw}{dx}\right)\right)$ der Inhalt des Theilchens $Z'V'v'z'$.

$$= \sigma ds + dt\left\{u ds . \frac{d\sigma}{dx} + \frac{\sigma dx}{ds}\left[dx\left(\frac{du}{dx}\right) + dz\left(\frac{dw}{dx}\right)\right]\right\}$$

Da keine Aenderung des Inhalts dieses Theilchens statt findet, so müssen die letzten Glieder zusammen $= 0$ seyn, und da

Digitized by Google

aus $u = V.\frac{dx}{ds}$ folgt $\left(\frac{du}{dx}\right)dx = \left(\frac{dV}{dx}\right)\frac{dx^2}{ds}$, weil offenbar $u + du = (V + dV)\frac{dx}{ds}$ ist, so hat man wegen $\left(\frac{dw}{dx}\right) = \left(\frac{dV}{dx}\right)\cdot\frac{dz}{ds}$, jene letzten Glieder

$$= dt\left\{u\,ds\frac{d\sigma}{dx} + \frac{\sigma dx}{ds}\left[\frac{dx^2}{ds} + \frac{dz^2}{ds}\right]\left(\frac{dV}{dx}\right)\right\}$$

$$= dt\left\{V.d\sigma + \sigma.dx\left(\frac{dV}{dx}\right)\right\}$$

und die Gleichung $V d\sigma + \sigma.dx\left(\frac{dV}{dx}\right) = 0$ nimmt hier die Stelle derjenigen ein, die vorhin die vierte war. Da $\left(\frac{d.V\sigma}{dx}\right) = V.\frac{d\sigma}{dx} + \sigma\left(\frac{dV}{dx}\right)$, ſo iſt ſie mit $\left(\frac{d.V\sigma}{dx}\right) = 0$ einerlei, und $V\sigma = f:t$ iſt ihr allgemeines Integral. $V\sigma$ bezeichnet die durch irgend einen Querſchnitt in der Zeiteinheit durchflieſsende Waſſermenge, und offenbar iſt dieſe in einem gegebenen Augenblicke in allen Puncten der Röhre gleich, oder in den engern Theilen der Röhre muſs die Geſchwindigkeit in eben dem Verhältniſſe gröſser ſeyn, als dieſer Querſchnitt ſelbſt kleiner iſt; von einem Augenblicke zum andern kann aber dieſe durch jeden Querſchnitt laufende Waſſermenge veränderlich, eine Function von t ſeyn.

Bezeichnet $\sigma'$ einen *beſtimmten* Querſchnitt der Röhre und $V'$ die dort ſtattfindende Geſchwindigkeit, ſo iſt $V = \frac{V'\sigma'}{\sigma}$ und $V'$ hängt einzig von t ab.

Die Gleichungen für p kommen jetzt, da $X = Y = 0$, $y = 0$, $v = 0$ iſt, auf folgende zurück,

$$2g\left(\frac{dp}{dx}\right) = -\left(\frac{du}{dt}\right) - u\left(\frac{du}{dx}\right) - w\left(\frac{du}{dz}\right),$$

$$2g\left(\frac{dp}{dz}\right) = -2g - \left(\frac{dw}{dt}\right) - u\left(\frac{dw}{dx}\right) - w\left(\frac{dw}{dz}\right).$$

Aber $\left(\frac{du}{dt}\right) = \left(\frac{dV}{dt}\right)\cdot\frac{dx}{ds}$; $\left(\frac{dw}{dt}\right) = \left(\frac{dV}{dt}\right)\cdot\frac{dz}{ds}$,

$$u\left(\frac{du}{dx}\right)dx + u\left(\frac{dw}{dx}\right)dz = u\left(\frac{dV}{dx}\right)ds = V\,dx\left(\frac{dV}{dx}\right),$$

Digitized by Google

$$w\left(\frac{du}{dz}\right)dx+w\left(\frac{dw}{dz}\right)dz=w\left(\frac{dV}{dz}\right)ds=Vdz\left(\frac{dV}{dz}\right),$$

also $2g\left(\frac{dp}{dx}\right)dx+2g\left(\frac{dp}{dz}\right)dz$

$$=2gdp=-2gdz-\left(\frac{dV}{dz}\right)ds-VdV,$$

weil man in dieser Gleichung, die ohnehin sich nur auf ein constantes t bezieht, dV statt $\left(\frac{dV}{dx}\right)dx+\left(\frac{dV}{dt}\right)dz$, setzen darſ.

Dieses ist die zweite Gleichung, die zur Bestimmung der beiden Gröſsen V und p nöthig ist. Aus $V=\frac{\sigma' V'}{\sigma}$ folgt auch

$\left(\frac{dV}{dt}\right)=\frac{\sigma'}{\sigma}\frac{dV'}{dt}$ und

$$2gdp=-2gdz-\frac{\sigma'}{\sigma}ds\frac{dV'}{dt}+\frac{V'^2.\sigma'^2 d\sigma}{\sigma^3},$$

$2gp=F:t-2gz-\frac{\sigma'.dV'}{dt}\int\frac{ds}{\sigma}-\frac{\sigma'^2 V'^2}{2\sigma^2}$ weil V' gar nicht von x oder s abhängt.

Obgleich diese Gleichungen nur auf sehr enge Röhren sollten angewandt werden, indem bei erheblicher Weite und Ungleichheit der Querschnitte es gewiſs nicht statt findet, daſs die Geschwindigkeit senkrecht auf die Axe als $=0$ könnte angesehen werden, so erlaubt man sich dennoch, in Ermangelung einer vollendetern Theorie, die Anwendung auf Gefäſse, die sich durch eine enge Oeffnung ausleeren, und diese Anwendung ergiebt folgendes.

Fig. 128. Es sey BCFG ein verticales Gefäſs, welches bis an BG mit Wasser gefüllt ist; bei A sey die Ausfluſsöffnung $=\sigma'$, und von CF oder A an werde die Höhe $=z$ hinaufwärts gerechnet, dann ist $ds=-dz$ und

$$2gp=F:t-2gz+\frac{\sigma'.dV'}{dt}\int\frac{dz}{\sigma}-\frac{\sigma'^2 V'^2}{2\sigma^2};$$

und $\int\frac{dz}{\sigma}$ müſste aus der Gestalt des Gefäſses bestimmt werden. Ist an der Oberfläche, wo $p=k=$ dem Drucke der Atmosphäre, zugleich $z=z'$, und dieses Integral $=S°$, ferner an der

Digitized by Google

unteren Mündung, wo p wieder $= k$; $z = 0$ ist, dieses Integral $= S'$, so erhält man die zwei Werthe

$$2gk = F:t - 2gz' + \frac{\sigma'.dV'}{dt}.S^o - \frac{\sigma'^2V'^2}{2\sigma^{o2}},$$

$$\text{und } 2gk = F:t + \frac{\sigma' dV'}{dt}.S' - \tfrac{1}{2}V'^2,$$

wenn mit $z' = z$, $\sigma^o = \sigma$ zusammengehört. Diese Gleichungen ergeben

$$4gz' = \frac{2\sigma'.dV'}{dt}(S^o - S') + V'^2\left(\frac{\sigma^{o2} - \sigma'^2}{\sigma^{o2}}\right).$$

Ist das Gefäſs ein Cylinder, dessen sämmtliche Querschnitte $= \sigma$ sind, so ist, wenn man $\int \frac{dz'}{\sigma}$ von $z = 0$ an rechnet $S^o = + \frac{z'}{\sigma}$ und $S' = 0$. Setze ich dann zugleich $\sigma = m.\sigma'$, so ist $4gz' = + \frac{2z'}{m}.\frac{dV'}{dt} + V^2\left(\frac{m^2-1}{m^2}\right)$.

Um dt wegzuschaffen haben, wir hier offenbar $-\sigma dz' = \sigma' V' dt$, da durch den Querschnitt $\sigma$ die Quantität $\sigma dz'$ in die Zeit dt flieſst, also $\frac{1}{dt} = -\frac{1}{m}.\frac{V'}{dz'}$ ist, und

$$4gz' = -\frac{2z'}{m^2}\frac{V'dV'}{dz'} + V'^2\left(\frac{m^2-1}{m^2}\right),$$

oder

$$4gm^2z'dz' = -2z'.V'dV' + V'^2(m^2 - 1)dz'$$

welche Gleichung mit $z'^{(-m^2)}$ multiplicirt, giebt

$$4gm^2.z'^{(1-m^2)}dz' = -d.(V'^2.z'^{(1-m^2)}),$$

oder

$$\frac{4g.m^2}{2-m^2}\left\{z'^{(2-m^2)} - z^{o(2-m^2)}\right\} = -V'^2.z'^{(1-m^2)}$$

wenn $z' = z^o$ war im Anfange der Bewegung oder für $V' = 0$.

Schon die Differentialgleichung zeigt, wenn man in ihr $dV' = 0$ setzt, daſs $V'$ einen gröſsten Werth erhält, wenn $V'^2 = \frac{m^2}{m^2-1}.4gz'$ ist, und auch die Natur der Sache läſst übersehen, daſs die mit $V' = 0$ anfangende Bewegung ein Ma-

ximum der Schnelligkeit erreichen muſs, weil für $z' = 0$, das heiſst bei fast völliger Ausleerung des Gefäſses, die Geschwindigkeit gewiſs wieder sehr geringe wird. Vergleicht man diesen Werth der gröſsesten Geschwindigkeit mit dem allgemeinen Werthe von $V'$ so muſs

$$\frac{4gz'.m^2}{m^2-1} = \frac{4gz'.m^2}{m^2-2}\left\{1-\left(\frac{z^0}{z'}\right)^{2-m^2}\right\},$$

$$\text{oder } \frac{1}{m^2-1} = \left(\frac{z^0}{z'}\right)^{2-m^2} = \left(\frac{z'}{z^0}\right)^{m^2-2}$$

$$\text{oder } z' = z^0.\left(\frac{1}{m^2-1}\right)^{\frac{1}{m^2-2}} \text{ seyn.}$$

Da unsere Experimente immer nur auf Fälle gehen, wo $m$ erheblich groſs ist, so sey zum Beispiel $m = 50$, $m^2 = 2500$

$$\log.\frac{z'}{z^0} = \frac{-\log. 2499}{2498} = -\frac{3{,}397766}{2498}$$
$$= -0{,}001320$$
$$= 0{,}998680 - 1$$

also $z' = 0{,}997.z^0$.

Die Formel zeigt also, daſs gleich nach dem Anfange der Bewegung die Geschwindigkeit ihren gröſsten Werth erreicht, der durch $V'^2 = \frac{m^2}{m^2-1}.4gz'$ ausgedrückt wird. Die in jedem Augenblicke erlangte Geschwindigkeit wurde allgemein durch

$$V'^2 = \frac{m^2}{m^2-2}.4gz'\left(1-\left(\frac{z^0}{z'}\right)^{2-m^2}\right)$$
$$= \frac{m^2}{m^2-2}.4gz'\left(1-\left(\frac{z'}{z^0}\right)^{m^2-2}\right)$$

angegeben, und da der Exponent $m^2 - 2$ immer eine sehr hohe Potenz andeutet, so ist dieser Werth, sobald $z'$ auch nur wenig kleiner als $z^0$ ist, sehr wenig von $4gz'$ verschieden, und die durch die Erfahrung bestätigte Regel trifft also nahe genug mit dieser nicht ganz strengen theoretischen Bestimmung zusammen. Zum Beispiel wenn auch die Oeffnung so bedeutend wäre, daſs $m^2 - 2$ nur 500 betrüge, was ungefähr mit $\sigma = 23 . \sigma'$ zusammenstimmen würde, und $z' = 0{,}99.z^0$, so hätte man $V'^2 = \frac{502}{500}.4gz'.(1 - 0{,}00657)$

$$= 4g.z'.0{,}9974, \text{ statt } 4gz',$$

und bei gröſsern Werthen von m wird die Abweichung noch unmerklicher.

Man könnte diese Formel noch etwas verbessern, wenn man die im Gefäſse nahe am Boden eintretende Aenderung im Querschnitte der *bewegten* Wassermasse in Rechnung brächte und deshalb $S^0$ etwas gröſser als $\frac{z'}{\sigma}$ setzte; aber dann müſste man die Form der wirklich bewegten Wassermasse BDAEG kennen. Fig 128.

Um diese kennen zu lernen, hat der jüngere Riccati folgende Schlüsse angewandt[1]. Gewiſs bildet die Natur diesen Strudel (gorgo) so, daſs die gröſste mögliche Geschwindigkeit erlangt wird, das aber geschieht, wenn $\int \frac{dz}{\sigma}$ für die ganze Ausdehnung des Strudels ein Kleinstes wird, und es scheint also nur der Variationsrechnung zu bedürfen, um $\sigma$ als Function von z anzugeben. Riccati bringt, da die Auflösung noch eine andere Bedingung bedarf, die neue Bedinguug in die Rechnung, daſs $\frac{dz}{\sigma}$ ein Kleinstes seyn soll, und findet dann ein parabolisches Konoid als den Strudel begrenzend; diese neue Bedingung scheint hier aber nicht passend, und Riccati gesteht selbst, daſs jene Parabel nicht den gröſsten Werth der Geschwindigkeit giebt. Obgleich er also seines Bruders Ansicht, daſs aus Mangel an gegebener Gröſse die Form des Strudels unbestimmt bleibe, verwirft, so scheint mir doch, daſs er genöthigt wäre, ihr beizustimmen, wenn er nicht noch irgend ein anderes Princip einzuführen im Stande war, das jenem Mangel ersetzte.

Man könnte hier noch Untersuchungen über die Bewegung des Wassers, wenn es Widerstand leidet, oder über die Bewegung solcher, nur halbflüssiger Körper, wie es das Oel ist, fordern, aber diese würden noch mehr Schwierigkeit haben[2].

---

1 Memorie della soc. Italiana. III. 238.

2 Wiefern die Schwierigkeiten in Beziehung auf den Widerstand der Röhrenwände sich überwinden lassen, habe ich in den Zusätzen zu Euler's Gesetzen des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper. S. 369. gezeigt.



Digitized by Google

Dagegen verdient ein anderer Fall der Bewegung des Wassers in Röhren hier noch eine nähere Betrachtung. Wenn das Wasser sich in einer heberförmigen Röhre befindet, und hier aus dem Gleichgewichte gebracht ist, so oscillirt es hin und her, und die Gesetze dieser Oscillationen lassen sich aus unsern Formeln genau bestimmen. Es sey zuerst die Röhre überall gleich weit, also $\sigma$ unveränderlich. Die
Fig. 129. Röhre bestehe aus zwei geraden Schenkeln CF und DG, die unter den Winkeln $\alpha'$ und $\alpha''$ gegen den Horizont geneigt sind; AB sey die Horizontallinie, in welcher das Wasser beim Gleichgewichte steht, von A an werde sowohl s als $z = s \, \text{Sin.} \, \alpha'$ gerechnet, die ganze Länge AEB der Wassesmasse sey $= l$. In dem Augenblicke, wo das eine Ende der Wassermasse um $S = s'$ hinaufwärts fortgerückt ist, beträgt die Senkung des andern eben so viel und für das erste ist $s = -s'$; $z = s' \, \text{Sin.} \, \alpha'$, für das zweite $s = l - s'$; $z = -s' \, \text{Sin.} \, \alpha''$. Die beiden Gleichungen $V . \sigma = f : t$ und $2 g d p = 2 - g d z - \left(\frac{dV}{dt}\right) ds - VdV$ geben hier $V = f : t$ und $2 g p = F : t - 2 g z - s . f' : t$, weil V nicht von s abhängt, sondern in alle Querschnitte gleich ist, und $\frac{dV}{dt} = f' : t$ ist; also für beide Endpuncte, wo bloſs die Atmosphäre drückt, $p = k$ ist,

$$2 g k = F : t - 2 g s' \, \text{Sin.} \, \alpha' + s' f' : t,$$
$$\text{und } 2 g k = F : t + 2 g s' \, \text{Sin.} \, \alpha'' - (l - s') f' : t,$$

welche verbunden

$$2 g s' (\text{Sin.} \, \alpha' + \text{Sin.} \, \alpha'') - l f' : t = 0 \text{ geben.}$$

Da $V = f : t$, $\frac{dV}{dt} = f' : t$ und zugleich $V dt = - ds'$ ist, so geht die letzte Gleichung auch in $l V dV = - 2 g s' ds' (\text{Sin.} \, \alpha' + \text{Sin.} \, \alpha'')$ über und es ist $V^2 = \frac{2 g (s^{o2} - s'^2)}{l} (\text{Sin.} \, \alpha' + \text{Sin.} \, \alpha'')$ wenn $s' = s^o$ wird für $V = 0$. Es folgt hieraus, daſs $V = 0$ ist, sowohl wenn die Oberfläche sich um den Abstand $s^o$ oberhalb als unterhalb von der Gleichgewichtsstellung entfernt hat, oder daſs die Oscillationen eben so tief unter die Gleichgewichtsstellung herab, als über sie hinauf gehen.

Um die Zeit einer Oscillation zu finden, muſs die Gleichung

$$dt = \frac{-ds'}{\sqrt{(s^{\circ 2}-s'^2)}} \sqrt{\left\{\frac{1}{2g\,.\,(\text{Sin.}\,\alpha' + \text{Sin.}\,\alpha'')}\right\}}$$

integrirt werden, welche

$$t = -\sqrt{\left\{\frac{1}{2g\,(\text{Sin.}\,\alpha' + \text{Sin.}\,\alpha'')}\right\}}\ \text{Arc. Sin.}\frac{s'}{s^\circ},$$

giebt. Rechnet man also die Zeit von da an, wo das Wasser sich in der Gleichgewichtsstellung befindet, so ist für eine halbe Oscillation oder bis $s' = s^\circ$ wird,

$$t = \tfrac{1}{2}\,\pi \sqrt{\left\{\frac{1}{2g\,(\text{Sin.}\,\alpha' + \text{Sin.}\,\alpha'')}\right\}}$$

Die Oscillationszeit ist also eben so groſs als die eines Pendels, dessen Länge $= \frac{1}{\text{Sin.}\,\alpha' + \text{Sin.}\,\alpha''}$ oder für $\alpha' = \alpha'' = 90°$ $= \frac{1}{2}\,l$ ist, und die Oscillationen haben gleiche Dauer, die Wassermasse mag groſse oder kleine Schwankungen machen.

Den Druck will ich nur noch für den Fall, da $\alpha' = \alpha'' = 90°$ ist, bestimmen. In dem Falle ist: $2gk = F:t - 2gs' - \frac{4gs'^2}{l}$ weil $dV = -\frac{s'ds'}{\sqrt{(s^{\circ 2}-s'^2)}}\sqrt{\frac{4g}{l}} = \frac{s'V\,dt}{\sqrt{(s^{\circ 2}-s'^2)}}\sqrt{\frac{4g}{l}}$

also $\frac{s'\,.\,dV}{dt} = \frac{4g}{l}\,.\,s'^2$ ist.

also allgemein $2gp = 2g\,(k + s' - z) + \frac{4gs'}{l}\,(S' - s)$.

Der Druck in jedem Puncte ist hiernach $= k + s' - z + \frac{2s'\,(s'-s)}{l}$, oder um so viel, als das letzte Glied angiebt, gröſser als er bei ruhender Oberfläche in gleicher Tiefe unter der Oberfläche seyn würde.

Die Betrachtung wird viel schwieriger, wenn die Röhre nicht überall gleich weit ist, indeſs ist es da bloſs eine Schwierigkeit in der Rechnung, die sich der Auflösung entgegenstellt, und ich will deshalb hier dabei nicht verweilen. Aber einige hieher gehörige Fragen, die noch weit schwieriger sind, muſs ich doch erwähnen. Es sey ABC eine gebogene Röhre, Fig. 130. die sich in zwei Röhren CD, CE theilt; wie wird das Wasser in diesen Röhren oscilliren? Hier lassen sich zwar einige Fälle angeben, wie die Oscillationen statt finden *können*, aber die allgemeine Bestimmung, wie es sich in allen Fällen verhalten

muſs, ist noch von niemand angegeben worden. Es ist nämlich einleuchtend, daſs ein möglicher Fall der ist, wo in zwei Röhren die Oberfläche in jedem Augenblicke, gleichmäſsig sinkend und steigend, gleich hoch ist, und dann würden sich die Oscillationen so ergeben, als ob diese beiden nur eine einzige Röhre ausmachten; aber nothwendig ist dieses offenbar nicht. Wäre nun sogar die beiden Röhren D; E; an verschiedenen ziemlich weit von einander entfernten Puncten der horizontalen Röhren Be angesetzt, so würde die Bestimmung noch schwieriger. Wir besitzen über diese Bewegung noch gar keine theoretischen Untersuchungen; Versuche über solche Oscillationen sind von den beiden Gebrüdern Weber angestellt worden. Diese Beobachter fanden, daſs ein Apparat, der 37 verticale Röhren auf eine horizontale Röhre in gleichen Abständen eingesetzt enthielt, eine in diesen Verticalröhren fortschreitende Wellenbewegung zeigte; die Welle schritt, nachdem man mit einem Hinaufsaugen oder Heben der Wasseroberfläche in der ersten Röhre angefangen hatte, von diesem Ende des Apparates nach dem andern Ende hin fort, und kehrte von da, wie Wellen zurückgeworfen werden, wieder zurück. Wurden nur drei aufgesetzte Röhren angebracht, die gleich weit von einander standen, und wurde durch Saugen das in den Röhren enthaltene Quecksilber in der ersten Röhre auf 2 Zoll, in der mittlern auf 1 Zoll gehoben, während es in der dritten auf 0 herabgesunken war, so sah man dennoch bei anfangender Oscillation auch in der mittlern Röhre das Quecksilber steigen, obgleich man allenfalls hätte erwarten können, daſs in der mittlern Röhre, die dem Gleichgewichtsstande entsprechende Höhe nicht würde geändert werden [1].

Diese hier zuletzt angeführten Untersuchungen gehören, wie man wohl übersieht, nicht mehr ganz in das Gebiet der linearischen Bewegung.

## Anwendung auf die ebene Bewegung.

Da unter *ebener* Bewegung hier eine solche Bewegung verstanden wird, bei welcher die dritte Dimension, die Breite des

---

1 Weitere Bemerkungen über diese interessanten Versuche theilen die Verf. selbst mit, s. Wellenlehre von E. H. und W. Weber. S. 296. 300.

Digitized by Google

Canals zum Beispiel, nicht in Betrachtung kommt, so will ich mich auf den Fall, wenn wirklich die Bewegung ganz in einer einzigen Vertical-Ebene statt findet und bloſs die Schwere einwirkt, beschränken, obgleich auch statt einer solchen Bewegung in einem geraden Canale die Bewegung zwischen gekrümmten verticalen Wänden hierher gehören würde. Die Voraussetzung, daſs einzig die Schwerkraft wirksam ist, nach der Richtung der $-z$, und daſs nach der Richtung der $y$ gar keine Bewegung statt findet, erlaubt uns $X = Y = 0$ und $v$ und $y = 0$ zu setzen.

Die allgemeinen Formeln werden also nun

$$\left(\frac{du}{dx}\right) + \left(\frac{dw}{dz}\right) = 0;$$

$$2g\,dp = -2g\,dz - \left(\frac{du}{dt}\right)dx - \left(\frac{dw}{dt}\right)dz$$
$$- u\left(\frac{du}{dx}\right)dx - u\left(\frac{dw}{dx}\right)dz$$
$$- w\left(\frac{du}{dz}\right)dx - w\left(\frac{dw}{dz}\right)dz;$$

und aus den hierin enthaltenen Fällen hebe ich, so wie Euler es thut, nur diejenigen heraus, bei welchen die Formel $u\,dx + w\,dz$ für sich integrabel ist. Dadurch nämlich erhält man nicht bloſs, wie es die obigen Formeln allgemein angeben,

$\left(\frac{dw}{dz}\right) = -\left(\frac{du}{dx}\right)$, sondern auch $\left(\frac{du}{dz}\right) = \left(\frac{dw}{dx}\right)$ und daher

$$2g\,(dp + dz) = -\left(\frac{du}{dt}\right)dx - \left(\frac{dw}{dt}\right)dz$$
$$- u\left(\frac{du}{dx}\right)dx - u\left(\frac{du}{dz}\right)dz$$
$$- w\left(\frac{dw}{dx}\right)dx - w\left(\frac{dw}{dz}\right)dz.$$

Nimmt man $\varphi$ als die Function an, deren in Beziehung auf $x$ und $z$ genommenes Differential $= d\varphi = u\,dx + w\,dz$ ist, so enthält dieses, wenn man auf die Veränderlichkeit von $t$ Rücksicht nimmt, noch ein Glied, das ich $= T\,dt$ setze, und bekanntlich muſs $\left(\frac{du}{dt}\right) = \left(\frac{dT}{dx}\right)$; $\left(\frac{dw}{dt}\right) = \left(\frac{dT}{dz}\right)$ seyn, daher geht unsere Gleichung in

$$2g\,(dp + dz) = -\,dT - u\,du - w\,dw$$

über und giebt integrirt:

$$2g\,(p + z) = \text{funct. } t - T - \tfrac{1}{2}u^2 - \tfrac{1}{2}w^2.$$

Daraus würde p vermittelst u und w bestimmt; um aber diese selbst zu finden, dienen die zwei Bedingungsgleichungen

$$\left(\frac{dw}{dz}\right) = -\left(\frac{du}{dx}\right)$$

$$\text{und } \left(\frac{dw}{dx}\right) = \left(\frac{du}{dz}\right).$$

$$\text{Da nämlich } du = \left(\frac{du}{dx}\right)dx + \left(\frac{du}{dz}\right)dz$$

$$\text{und } dw = \left(\frac{du}{dz}\right)dx - \left(\frac{du}{dx}\right)dz, \text{ ist,}$$

so hat man

$$du + dw.\sqrt{-1} = \left\{\left(\frac{du}{dx}\right) + \left(\frac{du}{dz}\right)\sqrt{-1}\right\}\left\{dx - dz\sqrt{-1}\right\}$$

$$du - dw.\sqrt{-1} = \left\{\left(\frac{du}{dx}\right) - \left(\frac{du}{dz}\right)\sqrt{-1}\right\}\left\{dx + dz\sqrt{-1}\right\}$$

Die Integralrechnung zeigt, daſs hieraus folgt

$$u + w.\sqrt{-1} = F : (x - z\sqrt{-1})$$

$$u - w.\sqrt{-1} = f : (x + z\sqrt{-1})$$

und daſs die Form dieser Functionen hier noch ganz unbestimmt bleibt. Wenn u und w auch von t abhängig oder im Fortgange der Zeit veränderlich sind, so ist diese Abhängigkeit hierdurch gar nicht bestimmt. In der Untersuchung über die Bewegung des Wassers in Canälen, würde indeſs schon viel gewonnen seyn, wenn man auch nur für den Beharrungsstand Formeln finden könnte, und ich will daher annehmen, es sey u und w nicht im Laufe der Zeit veränderlich. Dann würde sich die Form der Functionen aus der gegebenen Gestalt des Bodens oder des Gefäſses und aus der gegebenen Gestalt der Oberfläche bestimmen lassen.

Es sey zum Beispiel der Boden eine horizontale Ebene und für denselben z = 0, dann würde für z = 0 nothwendig w = 0, weil am Boden selbst die auf den Boden senkrechte Geschwindigkeit gewiſs zerstört ist. Die Subtraction jener beiden Formeln ergiebt

$$w = \frac{1}{2\cdot\sqrt{-1}}\left\{F : (x - z\sqrt{-1}) - f : (x + z\sqrt{-1})\right\}$$

Digitized by Google

Da dieses $= 0$ seyn soll für $z = 0$, so ist $F:x = f:x$ oder beide Functionen, obgleich ihre Form noch unbestimmt bleibt, müssen von *einerlei* Form seyn.

Wenn man unter $f':x$ versteht

$$\frac{d.f:x}{dx}, \text{ unter } f'':x = \frac{d^2.f:x}{dx^2}, \text{ und so ferner}$$

so ist bekanntlich nach dem Taylor'schen Lehrsatze

$$f:(x - z\sqrt{-1}) = f:x - z\sqrt{-1}.f':x + \frac{z^2}{2}.f'':x$$
$$+ \frac{z^3.\sqrt{-1}}{6}.f''':x + \frac{z^4}{24}.f'''':x - \text{etc.}$$

$$f:(x + z\sqrt{-1}) = f:x + z\sqrt{-1}.f':x - \frac{z^2}{2}.f'':x$$
$$- \frac{z^3.\sqrt{-1}}{6}.f''':x + \frac{z^4}{24}.f'''':x + \text{etc.}$$

$$\text{also } w = -zf':x + \frac{z^3}{6}.f''':x - \frac{z^5}{120}.f^{v}:x + \text{etc.}$$

und eben so würde u durch eine von dem Zeichen $\sqrt{-1}$ ganz befreite Form ausgedrückt. Dieses dient wenigstens zum Beweise, daſs der mit dem Zeichen des Unmöglichen behafteten Formeln ungeachtet wohl eine brauchbare Auflösung hervorgehen kann.

Die Form der hier noch unbestimmt bleibenden Function $f:x$ müſste durch eine zweite Bedingung bestimmt werden, zum Beispiel durch die gegebene Gestalt der Oberfläche. Was sich auf diesem Wege etwa leisten läſst, habe ich in den Zusätzen zu Euler's Gesetzen des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper[1] gezeigt, aber um anwendbare Folgerungen zu erhalten, müſste man nothwendig auf den Widerstand Rücksicht nehmen, welchen die Bewegung jedes Theilchens leidet, und da dieser gewiſs selbst eine Function der Geschwindigkeit ist, so fiele die Voraussetzung, daſs $X = 0$ und $Z = -1$ ist, weg, zugleich bliebe die Formel: $Xdx + Zdz$ nicht für sich integrabel und es würde daher eine scharfsinnige Bestimmung der Fälle, die bei diesen Voraussetzungen allenfalls noch auflösbar wären, fordern. Fragen, an deren Auflösung man vielleicht am ersten denken, und bei denen man diesen Wider-

1 S. 194.

stand bei Seite setzen könnte, scheinen die zu seyn, die sich auf Oscillationen im Gefäſs von gegebener Form und auf die Wellenbewegung beziehen; indeſs sind dann u und w nothwendig von der Zeit abhängig, und es ist ungewiſs, ob sie unter der ganz willkürlich eingeführten Bedingung, daſs $u\,dx + w\,dz$ für sich integrabel sey, enthalten sind. Die Untersuchung kann allerdings dadurch erleichtert werden, daſs man die Oscillationen oder die Wellen unendlich klein annimmt; aber dann scheint sie auch keinen erheblichen Nutzen darzubieten.

Auch die allgemeine Betrachtung, wo v nicht $= 0$ ist, wird leichter für die analytische Behandlung, wenn $u\,dx + v\,dy + w\,dz$ für sich integrabel ist, aber selbst dann gelangt man nur zu einer etwas bequemern Differentialgleichung des zweiten Grades, deren Integration groſse Schwierigkeiten darbietet. Man hat daher noch kaum einen Fortschritt über das heraus, was Euler geleistet hat, machen können, diejenigen, zum Theil sehr schätzenswerthen Untersuchungen abgerechnet, die Laplace über die Oscillationen des Meeres bei der Ebbe und Fluth, Poisson und Cauchy über Wellen angestellt haben.

## Geschichte und Literatur der Hydrostatik und Hydrodynamik.

Die erste theoretische Behandlung hydrostatischer Lehrsätze kommt wohl bei Archimedes vor. In seinem Buche *περὶ τῶν ὀχουμένων*, oder de insidentibus humido zeigt er, daſs wegen der zum Gleichgewichte nothwendigen Gleichheit des Druckes von allen Seiten die Wasseroberfläche der ganzen Erde eine Kugel bilden müssen; dann beweiset er, daſs ein eingetauchter Körper mit der Gewalt, welche dem Gewichte des aus der Stelle getriebenen Flüssigen gleich ist, gehoben wird; endlich folgen Untersuchungen einzelner Fragen, ob Körper, namentlich Konoide, in Stellungen, wobei die Axe von der Senkrechten abweicht, schwimmen können oder zur senkrechten Stellung der Axe zurückkehren. Daſs er auch die Frage, wie man die Quantität des einem andern Metalle beigemischten Metalles bestimmen könne, auflöste, ist bekannt. Da des Archimedes übrige Bemühungen, ebenso wie die der übrigen ältern Mechaniker, mehr

das Praktische betreffen, so habe ich davon im Art. *Hydraulik* geredet.

In der Zeit der Wiederherstellung der Wissenschaften hat Ghetaldi Einiges zu dem, was Archimedes gelehrt hatte, hinzugesetzt[1]. Von Stevinus giebt Montucla[2] an, daſs er (etwa 1580) in seiner Mechanik den hydrostatischen Druck richtig bestimmen lehrte, und schon auf den auffallenden Umstand, daſs der Druck auf den Boden mehr, als das Gewicht der ganzen Wassermasse betragen könne, aufmerksam machte. Ueber diesen und ähnliche Gegenstände hat auch Galilei vollständigere Betrachtungen angestellt[3], unter andern darüber, daſs selbst eine geringe Wassermasse zureicht, den specifisch leichteren Körper zu heben. Das hydrostatische Paradoxon, daſs in zwei verbundenen Röhren die kleine Masse in der engern Röhre einen ebenso groſsen Druck als die gröſsere Masse in der weiteren Röhre ausübt, oder eine groſse Masse in der weiteren Röhre das Gleichgewicht hält, führt er darauf zurück, daſs ja bei entstehender Bewegung jene kleine Masse in eben dem, aber entgegengesetzten Verhältnisse sich schneller bewegen müsse, wodurch das Auffallende beseitiget werde. Er verweilt lange dabei zu zeigen, daſs es nicht auf die Gestalt des Körpers, sondern auf sein specifisches Gewicht ankomme, ob er untersinkt, und giebt die Gründe, warum Nadeln oder Metallblättchen, ihres groſsen specifischen Gewichts ungeachtet, auf der Oberfläche bleiben, sehr richtig an. Es hänge nämlich davon ab, daſs die gröſste Höhe des Randes, den das Wasser, ohne sich über den eingetauchten Körper zu ergieſsen, annehmen kann, groſs genug sey, um einen Raum, der mit Wasser gefüllt, mehr als die Nadel wiegt, faſste, frei zu lassen; welche Kraft aber diesen Rand erhalte und das Zusammenflieſsen der beiden Wasserwände hindere, giebt er nicht genau an. Um das specifische Gewicht der festen Körper zu bestimmen, brachte schon Galilei eine hydrostatische Waage, zur Abwiegung im Wasser in Vorschlag, (la bilancetta), deren Einrichtung Viviani und Castelli zu verbessern suchte[4].

1 Archimedes promotus. Romae 1603.

2 Hist. II. 180.

3 In seinem Buche: delle cose, che stanno sul acque; Opere. ed. Fiorent. Tom. I. p. 222.

4 Galilei Opere. I. 624 III. 312. (Firenze, 1718).

Die durch PASCAL's Untersuchungen veranlaſsten Erörterungen BOYLE's über hydrostatische Paradoxa[1] sind für die damaligen Kenntnisse nicht ohne Werth.

Die Untersuchungen von CASTELLI, TORRICELLI, MARIOTTE und GUGLIELMINI habe ich schon oben angegeben. NEWTON stellte in seinen Principiis gründlichere Betrachtungen an, besonders über den Widerstand, den feste Körper bei der Bewegung in flüssigen leiden, und über die Gestalt, wobei der Widerstand am kleinsten ist; über die Bahn geworfner Körper in widerstehenden Medien, über den Ausfluſs des Wassers aus Gefäſsen; über die Oscillationen des Wassers in Röhren und über die Wellenbewegung[2]. VARIGNON (du mouvement des eaux courantes) und HERRMANN (phoronomia, s. de viribus et motibus corporum solidorum et fluidorum) stellten ähnliche Untersuchungen mit Anwendung höherer Analysis an. Die immer schätzenswerthen Bemühungen WOLF's, MUSSCHENBROEK's, s'GRAVESANDE's und anderer muſs ich übergehn. Aber einen ganz neuen Weg betrat JOHANN BERNOULLI, der, auſser Untersuchungen über die Bewegung fester Körper in Widerstand leistenden Flüssigen, unter dem Titel: hydraulica, nunc primum detecta et demonstrata directe ex fundamentis, pure mechanicis[3], eine, in der That ganz neu begründete, vollständigere theoretische Hydrodynamik aufstellte. EULER ertheilt dem Verfasser über diese Arbeit die ausgezeichnetsten Lobes-Erhebungen, die dieses scharfsinnige Werk, wenn es auch noch manches zu wünschen übrig lieſs, sehr verdiente[4]. Wenige Jahre später (1738) erschien DANIEL BERNOULLI's hydrodynamica, in welcher der Verfasser die hydrodynamischen Sätze aus dem Princip der Erhaltung der lebendigen Kräfte herleitete, und manche Vergleichung mit Erfahrungen mittheilte. SEGNER's Erläuterungen[5] schlossen sich an diese Entdeckungen an. Dagegen leitete D'ALEMBERT die gesammten Lehren der Hydrodynamik auf eine andere, sich mehr an die allgemeinen Princi-

---

1 Boyle hydrostatic paradoxes, wovon eine zureichende Notiz sich findet in Phil. Transact 1665. I. 175.

2 Principia lib. II.

3 Joh. Bernoulli opera IV. 387. Diese Schrift ist vom Jahr 1732.

4 l. c. pag. 389.

5 Exercitationum hydraulicarum fasciculus. 1747.

pien der Mechanik anschlieſsenden Weise ab, und vervollkommte die Formeln[1]. Noch vorzüglicher aber ist Euler's Darstellung der theoretischen Hydrodynamik, indem die Formeln einleuchtender abgeleitet und mit mehr Vollständigkeit angewandt sind. Euler ist auf diese Untersuchung mehrmals zurückgekommen, am vollkommensten ist die Darstellung in den novis Comment. acad. Petropol. Tom. 13 bis 16, aus welchen ich sie übersetzt und mit Zusätzen vermehrt herausgegeben habe, unter dem Titel: die Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper, dargestellt von L. Euler. Leipzig 1806. Kästner in seiner Hydrodynamik. Karsten im 5. und 6. Bande seines Lehrbegriffs erläuterte die von diesen groſsen Männern aufgestellten Lehrsätze. Lagrange hat nachher in seiner mécanique analytique, und Laplace in der mécanique céleste die Grundlehren der Hydrodynamik entwickelt, und der letztere hat Anwendungen der allgemeinen Formeln auf die Figur der Erde und die Ebbe und Fluth mitgetheilt. Einzelne Erweiterungen der Theorie finden sich in: Cauchy sur une espèce particulière du mouvement des fluides[2], wenn nämlich entweder jedes Theilchen dem andern gänzlich folgt, oder auch niemals an den Platz gelangt, wo jenes gewesen ist. Ferner in Gallus Untersuchungen über die Grundformeln der Bewegung flüssiger Körper[3], auch Navier sur les lois du mouvement des fluides, ayant égard à l'adhésion des molecules[4].

Die Grundlehren der Hydrostatik und Hydrodynamik findet man, mit mehr oder minderer Ausführlichkeit und Gründlichkeit in den Lehrbüchern der Mechanik, unter welchen Poisson's traité de mécanique vorzüglich genannt zu werden verdient.

*B.*

# Hydrographie.

*Hydrographia;* Hydrographie; *Hydrography;* Beschreibung der Gewässer des Erdballs; im Gegensatze zur Geographie und als specieller Theil derselben. Da die Beschreibung der inländischen Gewässer, als Seen, Flüsse u. s. w. zur

---

1 Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides. 1744.

2 Journal de l'École polytechn. 19. Cah. p. 204.

3 Gergonne Annales des math. Tome XIV.

4 Bullet. de la soc. philomat. 1825. Avril.

Digitized by Google

Geographie der umgebenden Länder gehört, so beschränkt sich die Hydrographie auf die Beschreibung und Ortsbestimmung der Meeresküsten, der Vorgebirge, der Inseln, Klippen und Sandbänke. Früher wurden diese Beschreibungen, wegen ihrer Unentbehrlichkeit für die Schifffahrt, auch in die Lehrbücher der Navigation aufgenommen, und diese mit dem Namen einer *Hydrographie* belegt. Von dieser Art ist das Werk des Jesuiten G. Sournier's[1] und einige andere dieser Art. Heutzutage wird die Schifffahrtskunde in besondern Lehrbüchern mitgetheilt; der Hydrographie hingegen gehören die Seecharten und Pläne von Inseln, Buchten, Hafen, und die Beschreibung der Reiseruten an.

Der Aufschwung, welchen die Geographie durch D'Anville erhielt, hatte auch auf die hydrographischen Forschungen einen sehr günstigen Einfluſs. Man zog die alten Reiseberichte der Spanier und Holländer hervor, und die Anwendung einer umsichtigen Kritik auf jene frühern Angaben erhob die Hydrographie zu einem Studium, welches anziehend durch seine geistige Behandlung, manche wichtige Entdeckung aus dem Dunkel der frühern Zeit hervorrief, und so der nautischen Geographie nicht minder wichtige Bereicherungen verschaffte, als die thätigen Forschungen der neuern Seefahrer. Diesen Pfad betraten in Frankreich Büache und besonders Fleurieu, der durch seine geistvolle Bearbeitung die Reise eines bloſsen Kauffahrers zum Range der Entdeckungsreisen erhob[2], und in einem gelehrten Werke die Rechte seiner Landsleute gegen die Ansprüche späterer Entdecker wirksam vertheidigte[3]. In England war es der Zeitgenosse Cook's, Alex. Dalrymple, dessen scharfsinnige Untersuchungen der Hydrographie eine Menge werthvoller Berichtigungen zubrachten, welche er durch eine reichhaltige Sammlung wichtiger, meist unbekannter, Charten und Pläne vermehrte. Ihm zur Seite steht Rennell, be-

1 Hydrographie, contenant la théorie et la pratique de toutes les parties de la Navigation; Paris 1679. Sec. Ed. gr. Fol.

2 Voyage autour du monde, pendant les années 1790, 91 et 92. par Étienne Marchand, avec Cartes et fig. publ. p. C. P. Claret Fleurieu. Paris. 1797. 4.

3 Decouvertes des Français en 1768 et 69 dans le Sud-Ouest de la nouvelle Guinée. Paris. 1790. 4.

Digitized by Google

rühmt durch seine Arbeiten über die Geographie von Indien und Africa. Ihm verdankt die Nautik sinnreiche Aufschlüsse über die Strömungen am Vorgebirge der guten Hoffnung, und am Eingange des Bristol-Canals, und durch sie die Bewahrung manches kostbaren Lebens und Eigenthums. Die Genauigkeit der geographischen Ortsbestimmungen, für welche seit Cook und Bougainville eine neue Epoche aufgegangen ist, hat der Hydrographie eine Menge sicherer Bestimmungen verschafft, von denen, als Vergleichungspuncten aus, sie die constanten Fehler der ältern Angaben berichtigen konnte, wodurch viele sonst nutzlose Data in richtige Positionen umgewandelt wurden; und ihr überhaupt zu einer Ausdehnung und Gründlichkeit verholfen, welche ihr unter den beschreibenden Wissenschaften einen ehrenvollen Rang zusichert. In die Fuſsstapfen jener Veteranen der nautischen Geographie treten nun die Hydrographen Horsburgh, Hurd und Purdy, alle bekannt durch bedeutende und gründliche Bearbeitungen verschiedener Theile des Indischen Oceans. Ein umfassendes Werk über Hydrographie verdanken wir dem Russischen Admiral von Krusenstern. Seine im J. 1819. in deutscher Sprache erschienenen *„Beiträge zur Hydrographie der gröſsern Oceane, als Erläuterung einer Charte des ganzen Erdkreises“* enthalten das Resultat vieljähriger mühsamer Forschungen und Sammlungen; und diese haben seither durch eine gänzliche Umarbeitung eine so auſserordentliche Ausdehnung und Vermehrung erhalten, daſs sie mit Recht als das Hauptwerk über Hydrographie anzusehen sind; eine seltene Bekanntschaft mit neuern und ältern Entdeckungen, verbunden mit der sorgfältigsten wissenschaftlichen Kritik, und eine unübertreffliche Vollständigkeit sind die auszeichnenden Vorzüge dieses Werkes, welchem ein reichhaltiger Atlas neu entworfener Charten zur Seite geht[1]. Die früher unter der Hy-

1 Der vollständige Titel dieser neuen Bearbeitung, welche in russischer und französischer Sprache erschienen ist, ist folgender: Recueil de mémoires hydrographiques pour servir d'analyse et d'explication à l'Atlas de l'Océan pacifique, par le Commodore de Krusenstern. St. Petersbourg, de l'Imprimerie du departement de l'instruction publique. 1824. gr. 4. 326 Seiten mit einem Atlas in gr. fol. von 15 Blättern, 22 gröſsere und kleinere Charten und 17 Pläne von Hafen enthaltend. Der IIte Band; Ibid. 1827. hält 480 S. mit einem Atlas von 19 Blättern, welcher 21 Charten und 7 Pläne darstellt. Der erste Band

drographie mit begriffene Schifffahrtskunde, in so weit sie die Längen- und Breitenbestimmung angeht, gehört der nautischen Astronomie an, für welche nebst mehrern trefflichen Englischen Werken *Müller's* Handbuch der Schifffahrtskunde; Hamburg, 1819. 8; ganz vorzüglich aber die Problèmes d'Astronomie nautique et de navigation par *C. Gueprätte*; Brest. 1823. 2 Vol. 8. anzuführen sind. *H.*

## Hydrostatik;

*hydrostatica*; hydrostatique; *hydrostatics.* Die Lehren vom Gleichgewichte unelastischer flüssiger Körper sind es, welche den Inhalt der Hydrostatik ausmachen. Der ganze Umfang dieser Wissenschaft läſst sich in folgendem kurzen Abrisse übersehen.

### Wichtigste Lehren der Hydrostatik.

Als eine Haupteigenschaft der flüssigen Körper können wir die ansehen, daſs sich ein auf sie ausgeübter Druck nach allen Seiten gleichmäſsig verbreitet. Wenn ein fester Körper in einem, ihn genau umschlieſsenden Gefäſse enthalten wäre, und eine
Fig. 131. Kraft drückte durch die Oeffnung B des Gefäſses auf ihn nach der Richtung AB, so würde dieser Druck zwar den festen Körper gegen den Boden CD des Gefäſses drängen, oder wenn einige Theile der Wände des Gefäſses unter einem schiefen Winkel gegen diese Richtung geneigt wären, wie EF, so würden diese einen Druck, so wie es die Zerlegung der in der Richtung AB wirkenden Kraft in eine auf sie senkrechte und in eine mit ihnen parallele Kraft fordert, leiden; aber HI würde gar keinen Druck von dem festen Körper, der sich eher von dieser Wand zu entfernen strebt, leiden. Ist dagegen eben das Gefäſs mit einem flüssigen Körper erfüllt, und es wird ein die Oeffnung B genau schlieſsender Kolben nach der Richtung AB

beschäftigt sich mit der Untersuchung aller Küsten, Inseln, Klippen, Sandbänke der südlichen Hälfte des stillen Oceans; der Letztere enthält die nördliche Hälfte eben dieses Meeres. Das Atlantische Meer ist in spätern Lieferungen zu erwarten. Auszüge und Beurtheilungen dieses Werkes findet man in Verneur's Journal des Voyages, und in Zach's Corresp. Astron. Vol. XIII et XIV; et prem. Cah. du Vol. XV. Hieher gehört auch als Handbuch zum Nachschlagen folgendes Werk: Tables de principales positions géonomiques du Globe, par Ph. J. Coulier. Paris, 1828. 494. S. in 8. *H.*

Digitized by Google

heran gedrängt, so leiden alle Wände einen Druck, und wenn zum Beispiel alle übrigen Wände, bloſs H I ausgenommen, eine groſse Festigkeit besäſsen, H I aber den angebrachten Druck nicht aushalten könnte, so würde die Wand H I nach auſsen gedrängt zerbrechen und also die Wirkung eines Druckes zeigen, welcher der Richtung A B der ursprünglich wirkenden Kraft gerade entgegengesetzt ist. Einen eben solchen Beweis für die nach allen Richtungen sich verbreitende Wirkung des Druckes giebt das Hervordringen aus Oeffnungen im Gefäſse. Wenn das Gefäſs eine so geringe Höhe hat, daſs man auf das nach unten drückende Gewicht des Flüssigen nicht zu sehen braucht, so wird die bei B drückende Kraft dieselbe bei M mit eben so groſser Gewalt, als bei L hervortreiben.

Diese Eigenschaft einer nach allen Richtungen gleichmäſsigen Fortpflanzung des Druckes ergiebt als nothwendige Folge, daſs jeder Theil der Wand, dessen Oberfläche so groſs ist, als die bei B gegen das Flüssige zu gedrängte Oberfläche des Kolbens, einen Druck, gleich der auf B wirkenden Kraft, leidet. Wenn also irgendwo bei L oder M ein Stück der Wandfläche demjenigen Stücke gleich, dessen Stelle der Kolben B einnimmt, beweglich wäre, und durch eine auf die Oberfläche senkrechte Kraft ruhend erhalten werden sollte, so müſste diese Kraft eben so groſs seyn, als die auf den Kolben wirkende. Wären auch mehrere solche bewegliche Theile der Wand da, jeder so groſs an Fläche, wie der Kolben, so würde jeder mit eben dem Drukke im Zustande der Ruhe erhalten werden müssen, und es geht daher das allgemeine Gesetz hervor, daſs der Druck, welchen ein Theil der Wand, vermöge der auf B drückenden Kraft leidet (immer vorausgesetzt, daſs B ein beweglicher, gegen die Oberfläche des Wassers gedrückter Kolben ist), der Gröſse des Wandstückes und der Gröſse jener drückenden Kraft proportional ist.

Eben diesen Druck leidet nun auch jedes Theilchen des Flüssigen selbst, und ein bei N im Flüssigen sich befindender Körper wird in jedem Theile seiner Oberfläche eben so gedrückt, so daſs man ihn mit einem starken auf B angebrachten Drucke zerdrücken kann, obgleich dieser Druck sich nur durch den flüssigen Körper bis dorthin fortpflanzt.

Wenn der flüssige Körper wie die Luft, einer Zusammendrückung fähig ist, so tritt die ganze Wirkung dieses Druckes

erst dann ein, wenn der, in einer Röhre vorrückende Kolben eine solche Conpression hervorgebracht hat, wobei die Ausdehnungskraft des Flüssigen groſs genug ist, um fernerem Vordringen des Kolbens zu widerstehen; leidet dagegen der flüssige Körper keine Zusammendrückung, so tritt jener Druck auf alle Wände sogleich vollkommen ein. Wenn der flüssige Körper eine Zusammendrückung erlitten hat, und die drückende Kraft hört auf, so dehnt er sich wieder aus, und darauf beruht es, daſs wir die flüssigen Körper, die fast gar keiner solchen Ausdehnung und Zusammenpressung fähig sind, wie Wasser, *tropfbar* nennen. Könnten wir eine kleine Luftmasse, gleichsam einen Tropfen Luft, in einen luftleeren Raum hinüber tragen, so würde diese Masse dort sogleich sich in einen ungemein groſsen Raum ausbreiten, dort also nicht mehr als ein Tropfen erscheinen, und solche Fluida sind also nicht tropfbar; diejenigen dagegen sind es, die in einen leeren Raum hinübergetragen, sich nicht auf diese Weise ausdehnen und zerstreuen.

Die Hydrostatik handelt nur von diesen, statt daſs die Aërostatik von den ausdehnbarem Flüssigen redet. Da das Wasser die bekannteste tropfbare Flüssigkeit ist, so pflegt man statt aller tropfbaren Flüssigkeiten meistens nur vom Wasser zu reden, und auch der Name Hydrostatik ist vom Wasser ($\ddot{\upsilon}\delta\omega\varrho$) hergenommen.

Da das Wasser, wie alle Körper, schwer ist, so übt eine Wassermasse auch ohne Beihülfe einer fremden Kraft schon einen Druck auf den Boden, auf die Wände des Gefäſses und
Fig. 132. auf jeden in ihr enthaltenen Körper aus. Ist nämlich bei a ein schweres Wassertheilchen, so drückt dieses auf das zunächst unter ihm liegende und ebenso mittelbar auf alle folgenden. Darauf gründet sich der Satz, *daſs die Oberfläche der der Schwerkraft unterworfenen tropfbar flüssigen Körper beim Gleichgewichte horizontal ist*, oder allgemein, *daſs die Oberfläche senkrecht ist auf die mittlere Richtung aller beschleunigenden Kräfte, welche auf jedes an der Oberfläche liegende Theilchen wirken.* Ich habe nur nöthig, dieses in Beziehung auf die Schwere zu beweisen, da es dann auch für andere Kräfte erhellet. Läge bei b ein Theilchen oberhalb der Horizontallinie, in welcher sich ein daneben liegendes Theilchen der Oberfläche befindet, so litte das unter b liegende Theilchen einen Druck vermöge des Gewichtes des auf demselben liegen-

Digitized by Google

den, und würde daher zum Ausweichen nach der Seite angetrieben; es würde, da kein Gegendruck von a her statt findet, diesem Antriebe zum Ausweichen folgen, und das Gleichgewicht könnte nicht eher eintreten, bis alle Theile der Oberfläche gleich hoch liegen, oder bis alle Theile der Oberfläche eine auf die Richtung der Schwere senkrechte Ebene bilden.

Die Bestimmung des Druckes, den tropfbar flüſsige Körper wegen der Schwere ausüben, läſst sich nun leicht finden. Es Fig. 132. sey zuerst ein gerades prismatisches oder cylindrisches Gefäſs mit verticaler Axe. Hier trägt jede Schicht CD das Gewicht der darüber stehenden Wassersäule, und da jede Schicht den auf sie ausgeübten Druck auf die nächste tiefere Schicht überträgt und dazu das Gewicht jener Schicht noch hinzukommt, welches den Druck auf die nächste Schicht vermehrt, so erhält man für jede Schicht und so endlich für den ganzen Boden EF einen Druck, welcher dem Gewichte der über jener Schicht oder über dem Boden stehenden Masse des Flüssigen gleich ist. Jeder Theil des Bodens, dessen Oberfläche = ff ist, leidet also einen Druck = ff . D . h, wenn h die Höhe der über dem Boden stehenden Säule und D das Gewicht der angenommenen Cubikeinheit des Volumens ausdrückt. Da man gewöhnlich die Schwerkraft als überall mit gleicher Gewalt wirkend ansieht, so betrachtet man D, als der Dichtigkeit proportional, indem das Gewicht eines Cubikfuſses dann allein von der Dichtigkeit abhängt.

Der Druck auf die Wände und auf den Boden eines auch nicht gerade cylindrischen oder prismatischen Gefäſses läſst sich nun auch leicht bestimmen. Da der Druck, den irgend eine Schicht CD des Flüssigen leidet, sich ebenso gut nach den Seiten als nach unten fortpflanzt, so ist es erstlich sehr leicht, den Druck auf einen schmalen Streif der Seitenwand, der nämlich nur eine sehr geringe Höhe hat, zu bestimmen. Ist die horizontale Länge dieses Wandstückes = l, seine Breite = k und befindet sich die Mitte desselben in der Tiefe = h unter der Oberfläche, so ist der Druck ebenso groſs, als wenn die Fläche l . k von dem Gewichte einer Wassersäule, die über diesem Wandstücke stehend sich bis zu der Höhe = h erstreckte, gedrückt würde, also der Druck = h . k . l . D. Diese Bestimmung des Druckes gilt, es mag der Theil der Wand vertical seyn, oder irgend eine schiefe Lage, wie LM oder NT haben, Fig. 133.

nur muſs die nach der Höhenrichtung gemeſsene Breite LM oder NT klein seyn, damit über die, für das ganze Wandſtück im Mittel geltende Tieſe unter der Oberfläche keine Unſicherheit sey, ſondern alle einzelnen Theile als beinahe von einer gleich hohen Säule gedrückt angeſehen werden können.

Dieſer ſo berechnete Druck iſt ſenkrecht auf die gedrückte Oberfläche, das heiſst, wenn ſtatt der feſten Wand LM ein beweglicher, aber dicht anſchlieſsender Theil der Wand vorhanden wäre, ſo müſste dieſer mit einer auf LM ſenkrechten Kraft, und zwar *mit einer Kraft, gleich dem Gewichte einer über dem Wandtheile ſtehenden, die Höhe* = h, *erreichenden Waſſerſäule* gedrückt werden, um das Hinausdrängen der Wand zu hindern. Aus der Zerlegung dieſes Druckes, der = h.l.k.D war, geht dann, wenn die Fläche unter dem Winkel = $\eta$ gegen den Horizont geneigt iſt, ein horizontaler Druck = h.l.k.D.Sin. $\eta$ und ein verticaler Druck = h.l.k.D.Cos. $\eta$ hervor. Der horizontale Druck wird durch einen ebenſo groſsen, horizontalen Druck an der gegenüber ſtehenden Seite des Gefäſses im Gleichgewicht gehalten; denn eben der horizontalen Schicht LMNT entſpricht ein gegenüber ſtehendes Wandſtück NT welches den Druck = h.l.k'.D leidet, und k' iſt hier = NT wenn k = LM war; iſt nun dieſes unter dem Winkel = $\eta'$ gegen den Horizont geneigt, ſo iſt Nn = NT Sin. $\eta$ = LM.Sin. $\eta$ und der aus dem Drucke auf NT hervorgehende horizontale Druck = h.l.k'.D.Sin. $\eta'$, iſt = hlkD Sin. $\eta$, ſo daſs ein Gefäſs von unveränderlicher Geſtalt durch dieſe vereinten Preſsungen nach entgegengeſetzten horizontalen Richtungen, gar nicht nach einer oder der andern Richtung fortgetrieben wird. Da eben das für alle horizontalen Schichten bei jeder Form des Gefäſses gilt, ſo braucht derjenige, der das ganze Gefäſs zu halten ſtrebt, auf dieſe Kräfte gar keine Rückſicht zu nehmen. Wäre das Gefäſs ſelbſt fähig, ſeine Geſtalt in Folge des Drucks zu ändern, ſo wäre es freilich anders, aber dieſen ſchwierigen Fall zu erörtern, iſt hier nicht meine Abſicht.

Eben dieſe Betrachtungen dienen auch, um den Druck auf den Boden des ganzen Gefäſses zu beſtimmen, auch wenn dieſes kein verticales Prisma iſt. Denn hat gleich rq nicht die ganze, bis zur Oberfläche AB hinauf reichende Waſſerſäule über ſich, ſo leidet doch dieſe Stelle des Bodens eben den Druck, als ob ſie von der ganzen Waſſerſäule r'q'qr gedrückt

würde, weil der auf andre Theile derselben Schicht lastende Druck sich nach allen Seiten hin fortpflanzt. So kann also der Druck, den der Boden leidet; gröſser, und selbst viel gröſser seyn, als das ganze Gewicht des vorhandenen Flüssigen, er ist Fig. 134. nämlich gleich dem Gewichte der Säule RSUT. Dieses anscheinende Paradoxon ist unstreitig durch die Eigenschaft der flüssigen Körper, den Druck nach allen Richtungen ungeschwächt fortzupflanzen, vollkommen begründet; man kann es aber auch durch folgende Vergleichung noch mehr erläutern. Wäre zwischen RQ und rq eine elastische Feder eingespannt, die stark zusammengedrückt, die Kraft von 10 Pfunden anwendet, um sich auszudehnen, so leidet sowohl der obere Boden, wofür ich hier pQ annehme, als auch der untere Boden rq diesen Druck von 10 Pfunden, und der letztere hat zugleich noch das Gewicht der Feder zu tragen; wären also beide Böden PQ, qr, nicht fest verbunden, so müſste der, welcher an beiden Orten der ausdehnenden Kraft der Feder widerstehen will, die ganze eben erwähnte Kraft ausüben; dagegen wenn beide Böden fest mit einander verbunden sind, so ist es das Gewicht der Feder allein, welches man zu erhalten braucht. Und gerade so ist es hier. Wenn die Höhe des Wassers über PQ durch h ausgedrückt wird, die Höhe über rq durch $h + h'$, so sehen wir, daſs aus dem Drucke auf PQ ein vertical aufwärts gerichteter Druck $= h.l.D.k' \text{Cos.}\,\eta'$ hervorging, und wenn $\varkappa' = PQ$, $k' \text{Cos.}\,\eta' = pQ$ ist, jener verticale Druck $= hlD.pQ$, hinaufwärts gefunden wurde; da nun der verticale Druck auf $rq = (h + h').lD.rq = hlD.pQ + h'lD.rq$, ist, so besteht er aus dem Drucke, den PQ aufwärts litt, und dem Gewichte der Säule Pq, und im festen Gefäſse heben sich jene gleichen Pressungen auf, so daſs der, welcher das Gefäſs trägt, in Beziehung auf den für PQ, rq statt findenden Druck bloſs das Gewicht der wirklich vorhandenen Wassersäule zu tragen hat; und da dieses in Beziehung auf alle Wassersäulen ebenso gilt, so heben überhaupt alle übrigen Drückungen auf Wände und Boden sich auf, und nur das gesammte Gewicht des Flüssigen bringt denjenigen verticalen Druck hervor, den man beim Aufheben des Gefäſses zu überwinden hat.

Dieser auf den unteren Boden des Gefäſses und auf jeden Theil der Wand so stark wirkende Druck, den wir eben vorhin berechnet haben, ist es nun, welcher die auffallenden Erschei-

Digitized by Google

nungen einer durch eine geringe Menge Wasser bewirkten ungemein starken Hebekraft hervorbringt. Da der anatomische *Heber*[1] und die *Wasserpresse* als eigene Artikel vorkommen, so will ich als ein Beispiel eines solchen Versuches nur s'Gravesande's *follis hydrostaticus*[2] anführen. Zwei kreisförmige Scheiben bilden den oberen und unteren Boden eines Gefäſses, dessen Seitenwände aus starkem Leder bestehen; im obern Boden befindet sich eine kleine Oeffnung, auf welche eine lange cylindrische Röhre aufgesetzt ist. Gieſst man in dieses Gefäſs zuerst nur soviel Wasser, daſs es bis zur untern Mündung der Röhre gefüllt ist, belegt aber dann den obern Boden mit sehr bedeutenden Gewichten, so tritt das Wasser in die Röhre hinauf; diese groſsen Gewichte reichen aber nicht hin, um den obern Boden viel herabzudrücken, weil der Gegendruck der in der Röhre hinauftretenden Wassermasse jenen Pressungen das Gleichgewicht hält. Nimmt man den obern Boden des Gefäſses, wie s'Gravesande von 15 Zoll Durchmesser oder 176 Quadratzoll = 1¼ Quadratfuſs Fläche, so braucht das Wasser in der Röhre nur 3¾ Fuſs hinaufgedrängt zu werden, um 300 Pfund zu tragen, wie es am angeführten Orte angegeben wird.

Schon Galilei hat ein andres hieher gehöriges Experiment angegeben, welches ebenfalls angeführt zu werden verdient und das man am besten so anstellen könnte. Man stelle ein oben offenes Gefäſs, dem man am besten eine seitwärts gehende Röhre giebt, um bei zu hohem Steigen des Wassers diesem einen Ausfluſs zu gestatten, auf die Schale einer Waage. Man fülle das Gefäſs so weit, daſs das Wasser durch jene seitwärts gehende Röhre auszuflieſsen anfängt, und bringe jetzt durch Gegengewichte die Waage ins Gleichgewicht. Nun tauche man mit der Hand einen ziemlich breiten Körper allmälig immer tiefer in das Wasser, oder noch besser, man bringe einen gerade über dem Gefäſse an einer festen Unterlage angebrachten Körper, den man durch Schrauben höher oder tiefer stellen kann, durch allmäliges Herabschrauben so in das Wasser, daſs er das Gefäſs nicht berührt: so flieſst durch die Röhre immer mehr Wasser ab, je tiefer jener Körper sich einsenkt; das Gleichgewicht aber bleibt ungestört, und wenn der eingetauchte Körper so gewählt

1 S. oben S. 137.

2 s'Gravesand physices elementa. Tom. I. p. 415.

ist, daſs er nur wenig Raum neben sich frei läſst, doch ohne das Gefäſs irgendwo zu berühren, so kann man den gröſsten Theil des Wassers heraustreiben, und dennoch scheint der Ueberrest noch immer eben so viel zu wiegen, als vorhin die gröſsere Masse. Der Grund hiervon ist leicht einzusehen; denn da die Höhe des Wassers über dem Boden immer gleich bleibt, so bleibt auch der Druck auf den Boden immer gleich, es mag der Raum mit Wasser oder mit dem festgehaltenen Körper ausgefüllt seyn; dieser festgehaltene Körper leidet zugleich einen Druck aufwärts, aber da er nirgends in Verbindung mit dem Gefäſse steht, so vermindert dieser aufwärts gehende Druck auf keine Weise den durch das Gegengewicht am Wagebalken angegebenen Druck auf den Boden.

Dieser mächtige Druck des Wassers wird besonders da nachtheilig, wo das Wasser Zutritt unter eine sehr breite Bodenfläche findet. Aus diesem Grunde sichert man die Schleusen, in welchen das Wasser viel niedriger als auſserhalb zu stehen bestimmt ist, durch sorgfältig in einander gefügte Pfahlwände, die bis tief in den Boden hinab die Verbindung zwischen der Gegend, wo das Wasser hoch steht, und der, wo es über dem Schleusenboden niedrig stehen soll, gänzlich hindern; findet es gleichwohl einen Weg dahin, so hebt es den Schleusenboden mit groſser Gewalt. Eben das findet bei den *Schiffsdocken* statt, in welche die Schiffe mit der zu ihrem Flottseyn nöthigen Wassertiefe einfahren; dann aber durch Wegschaffen der ganzen sie umgebenden Wassermasse trocken gelegt werden, während vor den Thüren der Docke das Wasser seine ganze Höhe von 12, 16, 18 Fuſs behält.

Die bisherigen Betrachtungen konnten angestellt werden ohne auf die Ungleichheit der Höhe des Wassers über einzelne Theile der Wände Rücksicht zu nehmen, da wir nur einen schmalen Wandstreifen, der beinahe überall gleich tief unter der Oberfläche liegt, zu betrachten brauchten. Um den Druck auf die ganze Seitenwand zu bestimmen, kann man so verfah- Fig.
ren. Es sey AB eine verticale Wand und die ganze Höhe 13.
AB = h bis an die Oberfläche des Wasser in n gleiche Theile getheilt; die Länge der Wand sey = l. Dann leidet das Stück Ba, welches $= l.\frac{1}{n}h$ ist, einen Druck, der kleiner als

$1 . \frac{1}{n} h . h . D$ und gröſser als $1 . \frac{1}{n} h . \frac{n-1}{n} h . D$ ist, indem die Tiefe $= h$ nur für den untersten, die Tiefe $= \frac{n-1}{n} . h$ nur für den obersten Theil des Wandstückes gilt. Ebenso ist für das zweite Stück der Druck zwischen $1 . \frac{1}{n} h . \frac{n-1}{n} h . D$ und $1 . \frac{1}{n} h . \frac{n-2}{n} h . D$ enthalten, und wenn man den Druck auf die ganze Wand bestimmen will, so erhält man zu viel, wenn man die Reihe $= \frac{1}{n^2} 1 h^2 D (n + (n-1) + (n-2) + \ldots + 1)$ summirt, und zu wenig, wenn man die Reihe
$\frac{1}{n^2} 1 . h^2 D ((n-1) + (n-2) + \ldots + 1)$ summirt; der Druck liegt also zwischen den Grenzen $= \frac{1}{n^2} 1 . h^2 D . \frac{1}{2} n (n+1)$ und $= \frac{1}{n^2} 1 . h^2 D . \frac{1}{2} n (n-1)$, oder zwischen den Grenzen $= \frac{1}{2} 1 h^2 D + \frac{1}{2n} 1 h^2 D$, und $= \frac{1}{2} 1 h^2 D - \frac{1}{2n} 1 h^2 D$; das heiſst, da n jede Zahl bedeuten kann, der Druck ist $= \frac{1}{2} 1 h^2 D$. Der Schwerpunct einer solchen Wand liegt in der Tiefe $= \frac{1}{2} h$ unter der Wasserfläche, *und der Druck ist also so groſs als das Gewicht einer Wassersäule, deren Basis die Wand selbst wäre, und deren Höhe der Tiefe des Schwerpunctes unter der Oberfläche gleich wäre.*

Dieser letztere Satz gilt nicht bloſs für die verticale Wand, sondern für alle Seitenwände. Es sey nämlich auch für die in ihren verschiedenen Theilen ungleich gegen den Horizont geneigte Wand die verticale Tiefe $= h$ in n gleiche Theile getheilt, die Neigung des untersten einen Wandtheils gegen den Horizont sey $= \eta$, die des zweiten $= \eta'$ und so weiter, so ist die Gröſse des einen Wandtheils $= \frac{1}{n} \frac{h . 1}{\text{Sin.} \eta}$, des zweiten $= \frac{1}{n} \cdot \frac{h 1}{\text{Sin.} \eta'}$, und der Druck auf alle zusammen wird durch die Reihe $\frac{1}{n} h 1 D \left( \frac{h}{\text{Sin.} \eta} + \frac{(n-1)}{n} \cdot \frac{h}{\text{Sin.} \eta'} + \frac{(n-2)}{n} \cdot \frac{h}{\text{Sin.} \eta''} + \text{etc.} \right)$

Digitized by Google

ausgedrückt. Aber $\frac{1}{n} \cdot \frac{h.l.}{Sin.\eta}$ drückt den Inhalt des untersten Wandstückes aus, und die eben so gebildeten Ausdrücke bezeichnen den Inhalt der übrigen Wandstücke; jedes derselben ist mit seinem Abstande von der Oberfläche $= \frac{n}{n}.h; = \frac{n-1}{n}.h$ und so weiter multiplicirt, und so drückt jene Reihe die Summe von Momenten in Beziehung auf die Oberfläche aus, wenn man die Gröſse der Wandstücke als Gewichte ansieht; es ist aber bekannt, daſs die Tiefe des Schwerpunctes $=$ H mit der Summe aller Gewichte $=$ ff multiplicirt gleich ist der Summe der einzelnen Momente, und daſs daher D.H.ff den Druck auf die ganze Wand angiebt, wenn ff den Flächen-Inhalt der ganzen Wand ausdrückt.

Diese Regel reicht zu, um den Druck, den jedes Stück der Wand, oder den die ganze Wand leidet, zu bestimmen, die Gestalt derselben sey, welche sie wolle.

Aus dem Bisherigen läſst sich auch ableiten, wie das Gleichgewicht besteht, wenn ungleichartige, nicht in eine gleichartige Mischung übergehende flüssige Körper in einem Gefäſse enthalten sind. Jedes dieser Flüssigen nimmt eine horizontale Oberfläche an, wenn die Schwere allein, die wir als überall nach parallelen Richtungen wirkend ansehen, auf sie wirkt. Die Möglichkeit des Gleichgewichtes fände statt, selbst dann, wenn die dichtere Schicht den oberen Platz einnähme, indem bei einer ganz genau horizontalen Oberfläche beider Körper die Oberfläche und jedes gleich tief liegende Theilchen des untern Körpers genau gleich stark gedrückt, keines also zum Ausweichen seitwärts angetrieben würde. Aber ein solches Gleichgewicht besteht nie auf längere Zeit, weil bei der geringsten Abweichung der Oberflächen von der horizontalen Ebene der Druck an einem Puncte gröſser wird, und an diesem Puncte ein Herabströmen der schwereren Materie eintritt, welches sich nicht eher endiget, bis der schwerere Körper den untern Raum eingenommen und hier eine horizontale Oberfläche angenommen hat. Tritt dann eine kleine Störung des Gleichgewichts ein, so besteht diese nur in einem Schwanken um den Zustand des Gleichgewichtes, und nach einigen Schwankungen stellt sich die horizontale Oberfläche wieder her.

Sind es andere Kräfte, die auf die verschiedenen Schich-

Digitized by Google

ten des Flüssigen wirken, so bilden sich beim Gleichgewichte die Oberflächen dieser Schichten so, daſs sie in jedem Puncte senkrecht gegen die mittlere Richtung der gerade dort wirkenden Kräfte sind. Der Druck, welchen jedes in irgend einer Tiefe liegenden Theilchen der Wand oder des flüssigen Körpers leidet, wenn sich Schichten verschiedenartiger flüssiger Körper über demselben befinden, läſst sich ebenfalls leicht finden; man sucht nämlich, wenn das Stück der Wand keine erhebliche Höhe hat, das Gewicht einer über diesem Wandstücke errichteten flüssigen Säule, deren einzelne Theile an Höhe und Dichtigkeit mit den Höhen und Dichtigkeiten der darüber stehenden verschiedenen Flüssigen überein stimmen.

Endlich gehört zu diesen Bestimmungen über den Druck ungleich dichter flüssiger Körper auch noch die Frage, wie hoch ungleich dichte flüssige Körper in zwei mit einander verbundenen Röhren stehen. Ist zuerst die Röhre A B C mit einem gleichartigen Flüssigen bis an D E ; F G ; gefüllt, so liegen beide Oberflächen D E ; F G ; in einer horizontalen Ebene, wenn nämlich die Richtungen der allein hier wirkenden Schwerkraft als unter sich parallel können angesehen werden. Denn da der Druck auf irgend ein Theilchen a der Tiefe unter der Oberfläche proportional ist, so würde der von der Seite D a wirkende Druck nicht dem von G a her wirkenden Drucke gleich seyn, wenn nicht beide Oberflächen gleich hoch lägen, und es könnte bei a kein Gleichgewicht bestehen. Befindet sich dagegen in der Röhre A B eine Flüssigkeit, deren Dichtigkeit = D, in C B eine Flüssigkeit von der Dichtigkeit = D′, und nimmt die leichtere den Raum G c, die schwerere den Raum b a c ein, so muſs die Höhe = H der erstern über der Fläche c d $H = \frac{H' D'}{D}$ seyn, wenn H′ die Höhe der andern über eben dieser Trennungsfläche ist. Wäre also zum Beispiel die schwerere Flüssigkeit Quecksilber, die leichtere Wasser, so würde des leichteren Wassers Oberfläche in c G fast 14 mal so hoch über d c stehen müssen, als die des schweren Quecksilbers in b a sich über c d oder c d′ befindet, weil Quecksilber fast das 14 fache specifische Gewicht des Wassers hat.

Fig. 126.

Ein anderer in der Hydrostatik abzuhandelnder Gegenstand ist die Lehre von dem Gleichgewichte der in das Wasser eingetauchten Körper. Fragt man bloſs nach dem Drucke, den

Digitized by Google

sie in irgend einem Puncte leiden, so beantwortet offenbar schon die vorige Betrachtung diese Frage; denn die Oberfläche des Körpers leidet in jedem Puncte eben den Druck, welchen eine an eben dem Orte befindliche Seitenwand leiden würde. Fragt man aber nach der Gewalt, welche das Flüssige auf den ganzen Körper ausübt, so ergiebt sich, daſs bei flüssigen Körpern, auf welche bloſs die Schwerkraft wirkt, *der Druck des flüssigen Körpers hinaufwärts mit so viel Kraft wirkt, als das Gewicht der von dem festen Körper aus der Stelle getriebenen flüssigen Masse beträgt.* Man nehme nämlich zwei einan- Fig. 137.
der in verticaler Richtung gegenüberstehende Theile ab, cd der Oberfläche des festen Körpers, die Tiefe der erstern sey $= h$, der andern $= h'$ unter der Oberfläche, so ist $ab.h$ der Druck auf die höhere, $cd.h'$ der Druck auf die tiefere; macht nun ab mit der Horizontallinie den Winkel $= \eta$; cd dagegen den Winkel $= \eta'$, so ist $be = df = ab \text{ Cos. } \eta = cd \text{ Cos. } \eta'$; die vertical drückende Kraft, die aus jenem auf ab senkrechten Drucke hervorgeht, ist aber $= ab.h.\text{Cos. } \eta$, und die Verticalkraft, welche aus dem auf cd senkrechten Drucke hervorgeht, ist $= cd.h'.\text{Cos. } \eta' = ab.h' \text{ Cos. } \eta$, der Unterschied beider also $= ab.\text{Cos. } \eta.(h'-h)$; also da $ab.\text{Cos. } \eta = eb$ den horizontalen Querschnitt der Säule abdc bedeutet, $(h'-h)$ die Höhe derselben, so ist, da hier das specifische Gewicht oder die Dichtigkeit des Flüssigen $= 1$ angenommen und deshalb in der Formel für den Druck der Buchstabe D weggelassen ist, der diesen beiden correspondirenden Theilen der Oberfläche zugehörende aufwärts gerichtete Druck gleich dem Gewichte der Wassersäule, die den Raum abdc ausfüllen würde. Es läſst sich offenbar die Anwendung genau ebenso auf jede solche Säule machen, die man in dem Körper abschnitte, und die gesammte Gewalt, mit welcher der gegen die untere Seite des Körpers gerichtete Druck diesen zu heben strebt, ist so groſs als das Gewicht des aus der Stelle getriebenen Flüssigen.

Die Frage, ob der Körper im Wasser untersinken, oder den ihm einmal gegebenen Platz fortdauernd einnehmen oder sich höher heben wird, läſst sich also sogleich beantworten. Ist das Gewicht des ganzen festen Körpers ebenso groſs, als das Gewicht des aus der Stelle getriebenen Flüssigen, so hat er weder ein Bestreben zu steigen noch zu sinken, beträgt das Gewicht des festen Körpers mehr, so sinkt er; beträgt es weniger,

so hebt er sich, und hört nicht eher auf zu steigen, bis ein Theil über der Oberfläche des Wassers hervorragt, und nur noch so viel von ihm im Wasser bleibt, daſs das Gewicht des ganzen Körpers dem Gewichte des jetzt noch aus der Stelle getriebenen Wassers gleich ist. So lange der Körper ganz untergetaucht bleibt, ist die Gewalt, mit welcher er gehoben wird, ganz gleich, er befinde sich tiefer oder minder tief unter der Oberfläche, kommt aber bei dem leichtern Körper ein Theil des Körpers über der Oberfläche des Wassers hervor, so wird die Menge des nun noch aus der Stelle getriebenen Wassers geringer, und da der Druck aufwärts immer gleich dem Gewichte dieser Wassermenge bleibt, so tritt endlich ein Gleichgewicht zwischen dem Gewichte des ganzen Körpers und dem Gewichte des aus der Stelle getriebenen Wassers ein, und dieses giebt die Bestimmung, wie viel von dem Volumen des Körpers beim Schwimmen noch eingetaucht bleibt. Die Frage, in welcher Lage der Körper schwimmen kann, wird wohl besser unter dem Art. *Schwimmen* und *Metacentrum* abgehandelt[1].

Diese Betrachtungen über den Druck, den ein eingetauchter Körper leidet, führen zu der Bestimmung des specifischen Gewichtes[2]. —

Die hydrostatischen Betrachtungen über die Figur solcher Körper, auf welche beschleunigende Kräfte einwirken, welche selbst die Gestalt bestimmen, übergehe ich hier, da sie im Art. *Erde*[3] vorkommen. Ebenso übergehe ich diejenigen Erscheinungen, welche von den gewöhnlichen Gesetzen der Hydrostatik abzuweichen scheinen, wo nämlich Wasser in sehr engen Röhren über die Oberfläche des umgebenden Wassers aufsteigt, Stahlnadeln auf dem Wasser schwimmen u. s. w., weil diese Erscheinungen aus der besondern anziehenden Kraft, wovon der Art. *Capillarität* handelt, erklärt werden müssen[4]. Von dem Drucke solcher Körper, die, wie Sand, als halbflüssig anzusehen sind, ist im Art. *Druck* gehandelt[5].

---

1 S. *Schwimmen* und *Metacentrum*.
2 S. *Gewicht*, Th. IV. S. 1489 und *Aräometer*. Th. I. S. 349.
3 Vergl. Th. III. S. 920.
4 S. Th. II. S. 85.
5 S. Th. II. S. 614.

Digitized by Google

## Ableitung der Grundformeln der Hydrostatik.

Um die Betrachtungen über das Gleichgewicht eines flüssigen Körpers ganz allgemein zu begründen, denken wir uns auf jedes Theilchen beschleunigende Kräfte wirkend, die als Functionen des Ortes anzusehen sind. Es sey nämlich die Lage eines Theilchens des Flüssigen durch drei auf einander senkrechte Coordinaten x, y, z bestimmt, und die nach den Richtungen dieser drei Coordinaten wirkenden beschleunigenden Kräfte durch X, Y, Z ausgedrückt. Diese Kräfte, obgleich vielleicht veränderlich von einem Puucte zum andern, können doch angesehen werden als gleich für jeden Punct des Theilchens $dm = D.dx.dy.dz$, wo D die Dichtigkeit des Theilchens ausdrückt. Diese beschleunigenden Kräfte geben dem Theilchen eine der Masse proportionale bewegende Kraft, die also nach jenen Richtungen durch $Xdm$; $Ydm$; $Zdm$; dargestellt wird. Aber da der von andern Theilchen her ausgeübte Druck auch auf dieses Theilchen wirkt und zwar der gedrückten Fläche proportional ist, so erhellet, daſs für die Fläche $= dx.dy$, welche auf z senkrecht ist, $p.dxdy$ den Druck darstellt, wenn p das Maſs des Druckes auf die Fläche $= 1$ ist, und daſs dieser für die um dz davon entfernte Fläche in

$\left(p + \left(\frac{dp}{dz}\right).dz\right)dxdy$, nach den für ähnliche Aenderungen gebräuchlichen Bezeichungen, übergeht. Diese Aenderung $= \left(\frac{dp}{dz}\right)dxdy.dz$ kann durch nichts anders als durch die nach der Richtung der z wirkende bewegende Kraft $= Z.D.dxdydz$ bewirkt werden, und da eben die Ueberlegung auch $\left(\frac{dp}{dx}\right)dx.dy.dz = X.D.dxdydz$ und $\left(\frac{dp}{dy}\right)dxdydz = Y.D.dx.dy.dz$ ergiebt, so ist

$$\left(\frac{dp}{dx}\right) = D.X;\ \left(\frac{dp}{dy}\right) = D.Y,\ \left(\frac{dp}{dz}\right) = D.Z, \text{ also}$$

$$\left(\frac{dp}{dx}\right)dx + \left(\frac{dp}{dy}\right)dy + \left(\frac{dp}{dz}\right)dz = D(Xdx + Ydy + Zdz) = dp.$$

Digitized by Google

Die Frage, ob nicht vielleicht in einem durch x, y, z bestimmten Puncte der mit z parallele Druck = p, der mit x parallele Druck = q und so weiter seyn könne, findet wohl im Vorigen schon ihre Beantwortung, indem dort gezeigt ist, daſs wegen der nach allen Seiten gleichmäſsigen Verbreitung des Druckes die Höhe der Wassersäule (um es den vorhin gebrauchten Ausdrücken gemäſs zu benennen), dieselbe bleibt, es mag sich in diesem Puncte eine Wand mit x, y, oder mit y, z parallel dem Druck entgegenstellen.

Diese Gleichung: $dp = D\,(X\,dx + Y\,dy + Z\,dz)$ ist also die Hauptgleichung für den Zustand des Gleichgewichtes, und diese Gleichung muſs eine Integration gestatten (welches bekanntlich nicht bei allen von drei Veränderlichen abhängigen Gleichungen der Fall ist), wenn überhaupt das Gleichgewicht möglich seyn soll. Ist die Gleichung integrabel, so giebt ihr Integral, bezogen auf irgend einen bestimmten Werth von x, y, z, den Druck in dem so bestimmten Puncte an. Ist dieser Punct in der Oberfläche des Gefäſses, so erhält man den Druck, den hier der als Maſs-Einheit aller Flächenbestimmungen zum Grunde liegende Theil der Oberfläche leidet.

Ist der flüssige Körper, wie wir hier annehmen, ein unelastischer, so kann er irgendwo eine freie Oberfläche haben, und damit diese bestehen kann, muſs der dort stattfindende Druck entweder = 0 oder = Const. seyn, indem, wenn er in den verschiedenen Theilen dieser freien Oberfläche ungleich wäre, das Gleichgewicht nicht bestände. In beiden Fällen ist $dp = 0$, und es ist daher $X\,dx + Y\,dy + Z\,dz = 0$ die Gleichung für die freie Oberfläche, welche nämlich, da X, Y, Z, gegebene Functionen der drei Coordinaten sind, angiebt, wie z durch x, y bestimmt seyn muſs, damit der durch diese Coordinaten angegebene Punct sich in der freien Oberfläche befinde.

Eben jene Formel enthält aber den Satz, daſs die aus den wirkenden Kräften hervorgehende Mittelkraft in jedem Puncte der Oberfläche senkrecht auf diese Oberfläche ist. Denn es ist aus der höheren Geometrie bekannt[1], daſs vermöge der Gleichung $X\,dx + Y\,dy + Z\,dz = 0$ der Cosinus des Winkels, den die Normallinie mit x macht $= \frac{X}{\sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}}$ und so für

1 Brandes Lehrb. der höheren Geom. II. 175.

die übrigen, ist; aber eben so bekannt ist es, daſs aus drei gegen einander rechtwinklichen Kräften = X, = Y, = Z, die Mittelkraft = $\sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}$ hervorgeht, und die Neigung dieser gegen jede der Seitenkräfte genau durch die eben vorhin angegebenen Ausdrücke bestimmt wird.

Obgleich jene Differentialgleichung nicht bei einem jeden willkürlich angenommenen Werthe der Kräfte integrabel wäre, sa ist sie es doch allemal, wenn die wirkenden Kräfte gegen einen anziehenden Punct gerichtet und Functionen der Entfernung von diesem Puncte sind. Ist nämlich diese Kraft = S und der Abstand des angezogenen Punctes von dem Puncte, gegen welchen die Kraft gerichtet ist, = s, so ist

$$X = \frac{S.dx}{ds}; Y = \frac{S.dy}{ds}; Z = \frac{S.dz}{ds};$$

also $X dx + Y dy + Z dz = \frac{S(dx^2 + dy^2 + dz^2)}{ds}$, welches aus bekannten Gründen = S ds, und allemal integrabel ist, wenn S eine Function von s allein ist. Eben diese Betrachtung zeigt auch, daſs die Integrabilität stattfindet, wenn mehrere anziehende Mittelpuncte vorhanden, und die gegen dieselben gerichteten Kräfte Functionen der Entfernungen sind.

Wenn die Schwere ganz allein wirkt, so ist nur *eine* überall gleiche beschleunigende Kraft vorhanden, und es ist am bequemsten anzunehmen, daſs die Richtung einer Ordinate z mit der Richtung der Schwere parallel sey. Dann sind X = Y = 0, Z = g = einem constanten Werthe, und dp = D . g . dz ist die einfache Differentialformel für das Gleichgewicht. Wenn hier nicht D eine unveränderliche Gröſse ist, so kann die Integration nur dann statt finden, wenn D eine Function keiner andern Gröſse als der Ordinate z ist, das Gleichgewicht findet also gar nicht statt, wenn nicht alle in derselben horizontalen Schicht liegenden Theilchen gleiche Dichtigkeit haben, oder mit andern Worten, nur dann erst gelangt der flüssige Körper zur Ruhe, wenn die ungleichartigen Flüssigen sich in horizontale Schichten gesetzt haben. Und so wie hier die Dichtigkeit eine solche Function, welche die Integrabilität nicht aufhebt, seyn muſs, so findet eben das in andern Fällen statt, daſs nämlich in der ganzen Schicht, wo der Druck einen constanten Werth hat, auch die Dichtigkeit gleich seyn muſs, und wenn

Digitized by Google

das nicht der Fall wäre, ſelbst ein Geſäſs nicht das Gleichgewicht erhalten kann. D'Alembert fügt noch die Bemerkung hinzu, die ſich faſt von ſelbst verſteht, daſs auch die äuſseren, irgendwo auf die Oberfläche wirkenden Kräfte den Werthen gemäſs ſeyn müſsen, die das Gleichgewicht fordert. Es iſt zum Beiſpiel ganz gewiſs, daſs eine homogene Waſsermaſse, deren Oberfläche horizontal iſt, im Gleichgewichte bleiben kann, wenn bloſs die Kraft der Schwere auf die Waſsermaſse wirkt; aber geſetzt in einem Theile der Oberfläche, wo der Druck $=0$ war, fange eine äuſsere Kraft an, vermittelst eines Kolbens einen Druck auszuüben, ſo beſteht das Gleichgewicht nicht mehr, obgleich die Formel $g\,dz$ noch immer integrabel bleibt. Und ebenſo kann es in andern Fällen vorkommen.

Ich wende, um nicht zu weitläuftig zu ſeyn, dieſe Formeln nicht auf mehrere Fälle an. Für die Schwerkraft iſt es klar, daſs aus $dp = D.g.dz$ folgt $p = \text{Const.} + Dgz$, daſs alſo, wenn h der Werth von z iſt, welcher der freien, gar keinen Druck leidenden Oberfläche angehört, $p = D.g\,(z-h)$ der vollſtändig beſtimmte Werth des Integrals, alſo der Druck $=p$, der Tiefe $= z - h$ unter der freien horizontalen Oberfläche proportional iſt. Leidet dieſe freie Oberfläche den Druck der Atmoſphäre, ſo muſs, wenn ich dieſen $= k$ ſetze, für die Tiefe $= h$ vom Anfangspuncte der verticalen Ordinaten an $p = k$, alſo $k = gDh$ ſeyn und $\text{Const.} = k - g.D.h$, alſo allgemein $p = k + gD\,(z-h)$, und daraus läſst ſich die Auflöſung aller oben ſchon betrachteten Probleme herleiten.

Die Literatur der Hydroſtatik iſt im Art. *Hydrodynamik* angeführt. *B.*

# Hygrometer.

**Hygroſkop, Notiometer, Feuchtigkeitsmeſser, Pſychrometer;** *Hygrometer; Hygroscopium, Notiometrum;* **Hygromètre, Hygroscope, Notiomètre;** *Hygrometer, Hygroscope; Notiometer.*

Hygrometer (von ὑγρὸς naſs, feucht) oder Notiometer (von νότιος naſs, feucht oder νοτὶς die Feuchtigkeit, beides von Νότος der Südwind), neuerdings Pſychrometer (von ψυχρὸς kalt) genannt, iſt ein Werkzeug, woran die Menge der in der

atmoſphäriſchen Luft enthaltenen Feuchtigkeit gemeſsen werden ſoll, ſo wie **Hygroſkop** ein ſolches bezeichnet, wodurch man bloſs die Anweſenheit derſelben ohne eigentliche Meſsung beobachten will. Daſſelbe gehört alſo unter die ſogenannten meteorologiſchen Apparate, und da man dieſe allezeit möglichſt vervielfältigte, die überwiegende Menge hygroſkopiſcher Subſtanzen aber hierzu das weiteſte Feld eröffnete, ſo läſst ſich ſchon im Voraus vermuthen, daſs die Zahl der Vorſchläge zu ſolchen Werkzeugen nicht geringe ſeyn kann; bei näherer Unterſuchung findet man ſie indeſs weit über alle Erwartung groſs. Hygroſkopiſche Subſtanzen finden ſich nämlich ſehr zahlreich in allen drei Reichen der Natur, und wenn dann hinzukommt, daſs die nämliche Subſtanz mehrere Conſtructionen für hygroſkopiſche Zwecke zuläſst, ſo muſs das Geſagte minder auffallend erſcheinen. Inzwiſchen lohnt es ſich keineswegs der Mühe, ſie insgeſammt aufzuzählen oder gar umſtändlich zu beſchreiben, denn es unterliegt keinem Zweifel, daſs die meiſten der angewandten Stoffe überhaupt nicht geeignet ſind, ein genaues Maſs der in der Atmoſphäre vorhandenen Feuchtigkeit zu geben, und obendrein verlieren alle aus dem Thier- und Pflanzen-Reiche in kürzerer oder längerer Zeit, meiſtens ſehr bald, ihre hygroſkopiſche Eigenſchaft. Weil aber aus den phyſikaliſchen Apparaten bei dem gegenwärtigen Stande der Wiſſenſchaft billig alle diejenigen verbannt werden müſſen, welche keine genaue Meſsung desjenigen gewähren, was ſie zu meſſen beſtimmt ſind, ſo verlieren damit alle älteren Apparate dieſer Art aus dem Thier- und Pflanzenreiche gänzlich ihren Werth. Daſs dieſes harte Urtheil auch die beſten und berühmteſten derſelben trifft, werde ich ſpäter darthun. Unter den mineraliſchen Subſtanzen iſt mir keine bekannt, welche ein genaues Maſs der atmoſphäriſchen Feuchtigkeit giebt; die meiſten derſelben verlieren auſserdem ihre hygroſkopiſche Eigenſchaft in kürzerer oder längerer Zeit, und ſie gehören ſonach mit jenen andern dem Weſen nach unter dieſelbe Claſſe. Wäre alſo dieſes Werk dazu beſtimmt, bloſs von eigentlich brauchbaren Inſtrumenten Rechenſchaft zu geben, ſo würde am Ende nur ein einziges eigentliches Hygrometer zu beſchreiben ſeyn, allein der Vollſtändigkeit wegen werde ich alle mir bekannt gewordenen nennen, um zugleich das ausgeſprochene Urtheil zu rechtfertigen, und für die Zukunft zu verhüten, daſs nicht unlängſt veraltete Erfindungen wieder als neu



Digitized by Google

aufgeführt werden. Zur besseren Uebersicht stelle ich die unter das Thierreich, Pflanzenreich und Mineralreich gehörigen abgesondert zusammen[1].

## A. Hygrometer aus dem Thierreiche.

Die häutigen und sehnigten Theile der thierischen Körper, insbesondere auch die Haare, Federn und Klauen, werden durch den Einfluſs der feuchten Luft weich, dehnen sich aus oder biegen sich, und zeigen durch diese Veränderung die wirkende Ursache so genau an, daſs einige derselben auf kurze Zeit und bis sie durch allmälige Austrocknung gegen den Einfluſs der Feuchtigkeit unempfindlich werden, zum wirklichen Messen der Menge des in der Luft vorhandenen Wasserdampfes dienen können. Dahin gehören hauptsächlich die vielen Arten der aus Darmsaiten verfertigten Hygrometer. Eine der ältesten von diesen ist durch Molineux[2] beschrieben, und besteht aus einer etwa 6 Zoll langen Darmsaite, welche am obern Ende befestigt ist, am untern aber eine hölzerne oder elfenbeinere Kugel von etwa 2 Zoll Durchmesser trägt. Auf letzterer ist durch zwei, eine Linie von einander abstehende, parallele Horizontalkreise eine Zone gebildet und in willkürliche Theile getheilt, auf welche ein an einem festen Gestelle angebrachter Zeiger hinzeigt. Wenn dann die vermehrte atmosphärische Feuchtigkeit ein Aufdrehen der Seite bewirkt, und hiernach die Kugel um ihre verticale Axe gedrehet wird, so deutet der Zeiger dieses auf den Theilen der Zone an[3].

Sturm[4] vertauschte die vom P. Maignan gewählten Grannen des wilden Hafers mit einem Ende einer Darmsaite, welches er auf einer horizontalen Scheibe lothrecht befestigte, oben mit einem Zeiger versah und in eine Glasröhre einschloſs, um

---

1 Eine reiche Sammlung und Zusammenstellung solcher Substanzen, welche Feuchtigkeit anziehen, mit einander verglichen durch Griffiths findet man in Journ. of Lit. Sc. and Arts XXVII. 92.

2 Phil. Trans. Nro. 162. Acta Erud. ann. 1686. p. 389.

3 Man befestigte auch unten an der Saite ein kleines Gewicht mit einem Zeiger, welcher auf einer horizontalen Scheibe auf verschiedene Grade zeigte, welches indeſs eine bloſse Abänderung der beschriebenen Construction ist.

4 Colleg. curios. Norimb. 1676. 4.

Digitized by Google

es aufrecht stehend zu erhalten, allein das Glas hindert den freien Zutritt der atmosphärischen Luft, und macht somit den Apparat unbrauchbar. Brander, von welchem viele Hygrometer dieser Art verfertigt sind, lieſs daher die Glasröhre weg, und wählte statt dessen eine etwas stärkere, durch ihre eigene Steifheit sich aufrecht erhaltende, Darmsaite von 1,5 Zoll Länge, befestigte das eine Ende derselben auf dem unteren Boden einer messingenen Büchse von 4 Z. Durchmesser in einem drehbaren Stifte, versah das andere, über den Deckel hervorragende Ende derselben mit einem horizontalen, sehr leichten messingenen Zeiger, und theilte die Oberfläche des Deckels in eine gewisse Anzahl von Theilen, welche zur Menge des atmosphärischen Wasserdampfes in einem bestimmten Verhältnisse stehen sollten. Die so von ihm verfertigten Büchsen haben stark durchbrochene Seitenwände, damit die Luft frei zur Darmsaite gelangen, und die Feuchtigkeit sie aufdrehen kann, wodurch sich die Spitze des Zeigers über der Theilung bewegt und somit zugleich die angenommene Menge des atmosphärischen Wasserdampfes angiebt.

Die Bestimmung der Menge von Wasserdampf in einem Cubikfuſs atmosphärischer Luft nach den Graden seines Hygrometers entlehnte er aus der bekannten Abhandlung von Lambert[1], welcher sich groſse Mühe gab, durch seine Versuche über die Verdunstung das quantitative Verhältniſs des Wasserdampfes in der atmosphärischen Luft nach den Graden des von ihm verbesserten Sturm'schen Hygrometers aufzufinden.

Die gemeinsten Apparate dieser Art, die sogenannten holländischen Hygrometer, welche auch in Nürnberg in Menge verfertigt und durch Hausirer zum Verkaufe ausgeboten werden, bestehen aus einem kleinen Häuschen von Pappe, in welchem ein Stück einer Darmsaite lothrecht herabhängt, und an seinem unteren Ende eine runde Pappscheibe trägt, auf welcher zwei Puppen, eine männliche mit einem Regenschirm, und eine weibliche mit einem Fächer stehen. Durch das Aufdrehen der Saite in Folge gröſserer Feuchtigkeit der Luft kommt die männliche Puppe vermittelst der Drehung der Scheibe aus ihrer Thüröffnung und deutet somit auf Regen, statt daſs ihr Zurückgehen und das Hervorgehen der weiblichen Puppe heitere Witterung

1 Mém. de l'Acad. des Sc. de Pruss. 1769 u. 72. Lambert's Hygrometrie a. d. Fr. übers. Augsp. 1774. 8. Fortsetzung 1775. 8.



Digitized by Google

andeuten soll. Ungleich weniger ist die Vorrichtung des P. Mersenne bekannt geworden, welcher eine Darmsaite ausspannte, und aus ihrem tieferen Tone auf gröſsere Feuchtigkeit, aus dem höheren auf Trockenheit schloſs[1].

Unter die bekanntesten und wegen ihrer Einfachheit nicht ganz verwerflichen Hygrometer gehört das von Chiminello auf Veranlassung einer von der Churpfälzischen Akademie der Wissenschaften 1783 über die Verfertigung harmonirender Hygrometer aufgegebenen Preisfrage in Vorschlag gebrachte Federkielhygrometer. Man nimmt hierzu einen unpräparirten Kiel einer gemeinen Gänsefeder, schabt ihn sehr dünn, welches am besten nach Anfüllung desselben mit Quecksilber geschieht, füllt eine nach der Weite der einzusenkenden Glasröhre zu bestimmende Länge desselben mit Quecksilber, senkt eine Glasröhre hinein, bis das Quecksilber ohngefähr in die Mitte derselben aufsteigt, und bindet den Kiel an dieser mit einem seidenen Faden fest. Zur Bestimmung der festen Puncte wählte er für die gröſste Feuchtigkeit das Einsenken in Wasser, und für die gröſste Trokkenheit das Aussetzen an die Sonnenstrahlen bei trockner Atmosphäre und 25° R. Temperatur[2]. Ein diesem gleiches Hygrometer hatte schon früher Capineau vorgeschlagen, jedoch bestimmte er zu festen Puncten das Einsenken in Eis für die gröſste Feuchtigkeit, welche er mit 0 bezeichnete, und die Wärme unter einer brütenden Henne, welchen er mit 33° bezeichnete[3]. Studer[4] hat eine vollständige Beschreibung des Verfahrens mitgetheilt, vermittelst dessen dieses Hygrometer möglichst vollkommen verfertigt werden kann, und er giebt ihm namentlich auch in Beziehung auf seine Dauer einen entschiedenen Vorzug; allein die Erfahrung zeigt genugsam, daſs alle Federkiele mit der Zeit ihre hygroskopische Kraft verlieren, obgleich sie den frischen im hohen Grade eigen ist. Statt der angegebenen Construction empfiehlt Retzius[5] den dünn geschabten Federkiel schraubenförmig in einen schmalen Streifen zu schneiden,

1 S. Dalencé Traité des baromètres, thermom. et hygromètres. Amst. 1688.

2 Opuscoli scelti di Milano. T. IX. p. 1. G. IV. 479.

3 Journ. de Phys. XV. 384.

4 G. LIX. 309.

5 Lichtenb. Mag. IV. 163. V. 115.

Digitized by Google

und den Grad der Feuchtigkeit nach dessen Verlängerung zu messen.

Unter die Vorschläge, den Grad der atmosphärischen Feuchtigkeit durch die Ausdehnung thierischer Häute zu messen, gehört der des Giov. Bapt. da St. Martino, einen Streifen Goldschlägerhaut auszuspannen, welcher sich durch Nässe ausdehnt, und bei gröſserer Dürre zusammenzieht. Für den Punct der gröſsten Feuchtigkeit wählt er den Stand des Zeigers beim Einflusse eines dicken Nebels, dagegen setzt er den Punct der gröſsten Trockenheit dahin, wohin das Instrument zeigt, wenn es in einem Gefäſse der Einwirkung einer bis 50° R. erhitzten Luft ausgesetzt ist, und glaubt auf diese Art ein besseres und wohlfeileres Instrument, als das Saussüre'sche Haarhygrometer zu erhalten; allein die Goldschlägerhaut ist schon durch die Art ihrer Verfertigung weniger empfänglich für die atmosphärische Feuchtigkeit, als das Menschenhaar, und trocknet leichter so vollständig aus, daſs sie ihre hygroskopische Eigenschaft gänzlich verliert. Empfindlicher im Anfange, aber gleichfalls nicht von langer Dauer ist ein Stück Froschhaut, welches Huth[2] empfiehlt, und eine Rattenblase, welche Wilson[3] nach Art des Federkieles mit Quecksilber zu füllen und eine Glasröhre in letzteres einzusenken räth. Fr. Mayer in Verona endlich hat die das Innere des Eies umgebende Haut als hygroskopische Substanz vorgeschlagen[4], allein ich finde nicht, daſs ein solcher Apparat jemals wirklich ausgeführt ist.

Unter die vor längerer Zeit zu Hygrometern vorgeschlagenen und nicht ohne Grund sehr empfohlenen Substanzen gehört die Seide, welche unter allen hierzu verwandten animalischen Stoffen dem austrocknenden Einflusse der atmosphärischen Luft vielleicht am längsten widersteht. Anfangs schlug Casbois[5] vor, den Darm, oder denjenigen Theil des Seidenwurms, welchen man gewöhnlich zum unteren Ende der Angelschnüre verwendet, als

1 Lichtenb. Mag. VI. 99.

2 Journ. von u. für Deutschl. 1784. S. 473.

3 Ann. de Chim. V. p. 307. Bibl. univ. IV. 262. Ann. of Phil. IX. 318. Man soll die Rattenblase umkehren und waschen, dann wieder umkehren und mit Quecksilber füllen.

4 G. LIX. 307.

5 Journ. de Phys. XXIX. 349.

hygroskopische Substanz zu benutzen, Parrot[1] dagegen wählt zweckmäſsiger die rohe Seide, und dieser Meinung ist auch Babinet[2], welcher der Seide, den Coconfäden, nach vielen Untersuchungen sogar den Vorzug vor dem menschlichen Haare rücksichtlich gröſserer Empfindlichkeit einräumt, obgleich die Ausdehnung des letzteren gröſser ist. Das ursprüngliche, aus dem Darme des Seidenwurm's verfertigte Hygrometer suchte Cazalet zu verbessern, indem er einen ungleichförmigen Gang der Ausdehnung an den verschiedenen Exemplaren dieser Substanz wahrnahm[3], allein es scheint ihm nicht gelungen zu seyn, vollständige Uebereinstimmung herauszubringen.

Die umfassendsten Arbeiten über Hygrometer aus animalischen Stoffen haben v. Saussüre und de Lüc geliefert, letzterer mit kaum erträglicher Ausführlichkeit. Schon sehr frühe suchte nämlich de Lüc bei seinen eifrigen Bemühungen um die Aufhellung der Meteorologie die geeignetste hygroskopische Substanz aufzufinden, und wählte hierzu das Elfenbein[4]. Ein hohler elfenbeinerner Cylinder 2 Z. 8 L. lang, 2,5 Lin. inwendig weit, von $\frac{3}{16}$ Lin. Dicke der Wandungen, die oberen 2 Lin. der Länge jedoch etwas dicker und mit einer eingesenkten 14 Z. langen Glasröhre versehen, wird mit Quecksilber gefüllt, und für den Punct der gröſsten Feuchtigkeit in schmelzendes Eis gesenkt. Da wo alsdann das Quecksilber im unteren Ende der Glasröhre steht, ist der Nullpunct der Scale. Dann wird an einem Quecksilberthermometer der Abstand der beiden festen Puncte gemessen, die Kugel desselben zerbrochen und das Gewicht des enthaltenen Quecksilbers gesucht; die vierte Proportionalzahl zu diesem Gewichte, dem Gewichte dessen, welches zur Füllung des elfenbeinernen Gylinders nöthig ist und der Gröſse des gemessenen Abstandes giebt dann das Fundamentalintervall am Hygrometer, zu welchem die Röhre des zerbrochenen Thermometers verwandt wird. Dieses Intervall wird in 40 Grade getheilt, und solcher Theile werden dann noch weiter so viele auf die Scale getragen, als deren Länge verstattet. Man

1 Theoret. Physik II. 421.

2 Ann. de Chim. et de Phys. XXVI. 367.

3 Journ. de Phys. 1786. Vol. II. p. 247.

4 Phil. Trans. LXIII. N. 38. Journ. de Phys. V. 381. u. 457. Leipz. Samml. I. S. 10 ff.

Digitized by Google

sieht bald, daſs dieses Verfahren dazu dient, den Einfluſs der Wärme auf das Hygrometer mit Bequemlichkeit zu corrigiren; denn wenn man bei den Beobachtungen zugleich ein in 40 Theile zwischen den beiden festen Puncten getheiltes Thermometer gebraucht, oder die Zahl der Réaumürschen Grade halbirt, so erhält man hierdurch diejenige Aenderung des Hygrometers, welche eine Folge der Temperatur ist. Werden nämlich die beobachteten Grade des Thermometers von denen abgezogen, welche das Hygrometer zeigt, so giebt die Differenz die dem letzteren allein zugehörige Veränderung. Das obere Ende der Röhre wird mit einem Deckel gegen Staub gesichert, ohne der Luft den freien Zutritt zu nehmen. Ein Hygrometer dieser Art gebrauchte Phipps auf seiner Reise nach dem Nordpole[1], allein der Erfinder verwarf dasselbe nachher selbst, weil er den Punct der gröſsten Trockenheit nicht zu bestimmen vermochte, die Luft das Elfenbein nur an einer Seite berührt, und der Apparat nicht unter der Campane der Luftpumpe anwendbar ist. Später hat indeſs John Leslie[2] das nämliche Instrument ohne eigentliche Verbesserung und mit Weglassung der Construction für Wärme wieder gebraucht. Das von ihm auf ähnliche Weise construirte Hygrometer hat den Anfangspunct der Scale dicht über dem Elfenbein da, wo das Quecksilber steht, wenn das Gefäſs in Wasser getaucht oder mit einem nassen Streifen Leinwand umwickelt ist. Die Eintheilung der Scale wird so gemacht, daſs jeder Theil derselben 0,001 des inneren Raumes ausmacht, oder 0,3 Gran Quecksilber enthält, dessen Totalgewicht 300 Gran beträgt, und die gewöhnlichen Aenderungen der Feuchtigkeit betragen dann gegen 70 solcher Grade. Leslie fand indeſs, daſs dieses Hygrometer zwar empfindlich genug ist, obgleich seine Aenderungen nur langsam erfolgen, allein die Ausdehnungen und Zusammenziehungen sind stärker in der Nähe der gröſsten Feuchtigkeit, als im oberen Theile der Scale, und obgleich er eine logarithmische Curve zur Bezeichnung des Feuchtigkeitszustandes nach der Angabe des Hygrometers in Vorschlag bringt, so gesteht er doch zugleich, daſs auf eine bestimmte Messung

1 A Voyage towards the North-Pole etc. Lond. 1774. 4.

2 Kurzer Bericht von Versuchen und Instrumenten, die sich auf das Verhalten der Luft zur Wärme und Feuchtigkeit beziehen. Uebers. von H. W. Brandes. Leipz. 1823. 8. S. 106.

Digitized by Google

durch dasselbe nicht zu rechnen sey, wobei es auſserdem dem allgemeinen Fehler aller Apparate dieser Art gleichfalls unterliege, nämlich daſs die Substanz ihre hygroskopische Eigenschaft allmälig verliere.

Das erste Hygrometer, welches mit sehr groſsem Beifalle aufgenommen wurde und die Hygrometrie bedeutend weiter zu bringen schien, ist das durch v. Saussüre angegebene Haarhygrometer[1]. Die hygroskopische Substanz desselben ist ein weiches, nicht krauses und wo möglich blondes Menschenhaar, welches wegen der anklebenden Fettigkeit in einer Auflösung von 7,5 Scr. Sodasalz in 30 Unzen Wasser eine halbe Stunde, dann noch zweimal einige Minuten lang in reinem Wasser gekocht, in kaltem Wasser abgespült und im Schatten getrocknet wird. Ein solches Haar dehnt sich vom Puncte der gröſsten Trockenheit bis zu dem der gröſsten Feuchtigkeit um 0,024 seiner Länge aus, und wird beim verbesserten oder sogenannten Reisehygro-
Fig. 138. meter des de Saussüre auf folgende Weise zum Messen der Feuchtigkeit benutzt. Ein Rahmen von Messingdraht, IKLM von etwa 15 Z. Höhe und 3 Z. Breite dient als Träger des Ganzen, und wird in einem Kasten mit Glasthüren aufgehangen. Das zum Messen der Feuchtigkeit bestimmte und präparirte Haar ist mit einer Klemmschraube y an einer Vorrichtung befestigt, welche auf dem Drahte KL verschiebbar ist, und sich vermittelst der Preſsschraube x feststellen läſst, damit beim Einziehen eines neuen Haares, dessen Ausdehnung eine andere ist, als wofür das Instrument eingerichtet wurde, die Länge desselben vergröſsert oder verkleinert werden kann, um die für die Bewegung des Zeigers erforderliche Veränderung paſslich zu erhalten. Für kleine Correctionen des Zeigers dient die Mikrometerschraube m, womit det Halter der Klemmschraube y auf- und abwärts bewegt werden kann. Die Hauptsache beim Instrumente ist der Zeiger. Dieser ist auf einer feinen Axe zwischen den parallelen Streifen ac, welche durch den bei g festgeschrobenen Träger gehalten werden, so genau im Gleichgewichte balancirt, daſs er in jeder Lage stehen bleibt, und also durch die schwache Wirkung des Haares leicht bewegt werden kann. Das aus dem

1 Essais sur l'hygrométrie; à Neufchatel 1783. 8. Versuch über die Hygrometrie; durch Hor. Ben. de Saussüre. Aus d. Fr. von J. D. T. (Titius) Leipz. 1784. 8. Vergl. Biot Traité I. p. 335.

Digitized by Google

Mittelpuncte seiner Axe beschriebene Bogenstück b b ist doppelt eingekerbt; in die eine Furche ist das Haar gelegt und bei c befestigt, durch die andere ein feiner Seidenfaden, welcher bei a festgehalten wird und ein kleines Gewicht z, nur einige Grane schwer, trägt; um das Haar stets in einiger Spannung zu halten, und den Zeiger zu bewegen, wenn letzteres durch Feuchtigkeit mehr ausgedehnt wird. Das um n vermittelst des Knöpfchens q drehbare Stück n q o p endlich dient zum Festlegen des Gewichtes und Zeigers, wenn es in die durch punctirte Linien angedeutete Lage gebracht wird; eine zum sicheren Transportiren nothwendige Vorrichtung. Der an zwei Drähten befestigte Haken r s endlich ist bestimmt, ein Thermometer daran zu hängen, welches zur Ausmittelung des Quantitativen der atmosphärischen Feuchtigkeit unentbehrlich ist.

Die bloſse Beschreibung ergiebt, wie sinnreich dieser Apparat construirt ist, und es kommt nur darauf an, mit welcher Genauigkeit die hygroskopische Substanz die Feuchtigkeit der Luft anzeigt. Um zuvörderst den Punct der gröſsten Feuchtigkeit zu erhalten, wird das Instrument unter eine inwendig befeuchtete über einem Teller mit Wasser stehende Glocke aufgehangen, und die zunehmende Ausdehnung des Haares beobachtet. Wächst diese nach 5 bis 6 Stunden noch fortwährend, so ist das Haar unbrauchbar, und muſs verworfen werden. Verlängert sich dasselbe aber nach einigen Stunden nicht mehr, so wird der Zeiger auf den Punct der gröſsten Feuchtigkeit gestellt, und beobachtet, ob es dann wieder zurückgeht, wie bei einigen der Fall ist (cheveux retrogardes), weil man es dann gleichfalls mit einem andern vertauschen muſs. Um überhaupt von dem richtigen Gange des Haares überzeugt zu werden, muſs man diese nämliche Operation in Zwischenräumen von mehreren Tagen einigemale wiederholen.

Noch mühsamer ist das Verfahren, wodurch der Punct der gröſsten Trockenheit gefunden wird[1]. Auf einem halbcylinderförmigen Bleche werden gleiche Theile Salpeter und roher Weinstein verpufft, und das rückständige Pulver wird eine Stunde rothglühend erhalten. Dann wird das Blech so heiſs, als ohne Zersprengung der Campane geschehen kann, unter diese gestellt, in welcher zuvor das Instrument aufgehangen ist, und der Zu-

1 Journ. de Phys. 1778. I. p. 43.

tritt der äuſseren Luft wird durch Quecksilber abgeschnitten. Hierdurch erhält die eingeschlossene Luft die höchste Trockenheit, welches daran kenntlich ist, daſs das Haar dann durch Wärme sich wieder ausdehnt, jedoch nur um eine kaum meſsbare Gröſse. Der Punct, auf welchem der Zeiger dann stationär bleibt, wird mit 0 bezeichnet, und der durchlaufene Bogen zwischen beiden Normalpuncten in 100 Theile getheilt giebt die Grade der Scale.

Das Saussüresche Haarhygrometer kam bald zu groſsem Ansehn, und hat sich dabei eine geraume Zeit bis zur neuesten Periode der hygrometrischen Untersuchungen erhalten; bloſs an de Lüc fand dasselbe einen eifrigen Gegner. Dieser verwarf schon 1775 sein oben beschriebenes Hygrometer von Elfenbein, und wählte statt dessen das Fischbein zur hygroskopischen Sub-
Fig. 139. stanz. Sein Apparat besteht gleichfalls aus einem Rahmen von Messing HIKL, welcher oben den getheilten Kreis abc trägt. Vor diesem ist der gleichfalls genau balancirte, vermittelst höchst feiner Axen leicht bewegliche Zeiger $\alpha\beta$ mit einer kleinen Rolle versehen, deren Rand eine doppelte vertiefte Furche hat. Als hygroskopische Substanz dient ein 0,5 Lin. breiter und etwa 8 Z. langer Streifen Fischbein, welcher von einem platten Kieferstücke vermittelst eines eigenen Hebels nach der Richtung der Querfibern abgeschnitten wird; am unteren Ende ist dieser in dem auf- und abwärts verschiebbaren, durch die Klemmschraube c festzustellenden Stifte $\gamma\delta$ befestigt, oben in einem kleinen Zängelchen, welches an einem Faden befestigt ist, und durch diesen mit sehr geringer Kraft aufwärts gezogen wird, um den Streifen stets etwas gespannt zu erhalten. Der Faden nämlich ist um die angegebene Rolle in der einen Furche ihres Randes zweimal umgeschlungen, ein anderer Faden aber um die nämliche Rolle in ihrer zweiten Furche nach entgegengesetzter Richtung geführt und mit dem andern Ende an der sehr feinen schraubenförmig gewundenen Drahtfeder $\varepsilon\zeta$ befestigt, welche ihn, und also auch den Fischbeinstreifen in der erforderlichen Spannung erhält, und mit ihrem anderen Ende an dem Halter d befestigt ist. De Lüc verfertigte solche Fischbeinstreifen von 1 Fuſs Länge, welche nicht mehr als 0,25 Gran wogen, dennoch 0,3 Unzen Gewicht trugen, und wovon 8 Zolle sich zwischen den beiden festen Puncten um 1 Z. ausdehnten. Zuerst vermochte der Erfinder dieses Apparates nur den Punct der gröſsten Feuch-

Digitized by Google

tigkeit zu bestimmen, und glaubte diesen bei allen Hygrometern nur durch Eintauchen in Wasser erhalten zu können; für den Punct der gröſsten Trockenheit hielt er die Anwendung des Feuers nothwendig, und weil die hygroskopischen Substanzen aus dem Thier- und Pflanzenreiche dieses nicht ertragen, so übergab er 1781 sein erstes mangelhaftes Werkzeug der Pariser Akademie ohne diesen zweiten Normalpunct. Bald nachher glaubte er indeſs auch diesen erhalten zu können, wenn er das Instrument in einem zinnenen mit ungelöschtem Kalke zum Theil angefüllten Kasten einige Tage aufhängte. Das Intervall zwischen diesen beiden festen Puncten theilte er in 100 Theile, und glaubte hiernach ein vollkommenes Hygrometer erhalten zu haben.

De Lüc verband nachher seine übermäſsig weitläuftigen Beschreibungen des von ihm erfundenen Hygrometers mit einer heftigen Polemik gegen die Anwendung sämmtlicher hygroskopischen Substanzen nach der Länge der Fibern, namentlich gegen das durch de Saussüre vorgeschlagene Haar[1]. In der Hauptsache kommen seine Einwendungen darauf hinaus, daſs der Punct der gröſsten Feuchtigkeit nicht anders als durch Eintauchen in Wasser erhalten werden könne, und dann trete bei allen Substanzen, sobald ihre Ausdehnung nach den Längenfibern gemessen werde, eine Unregelmäſsigkeit ein, vermöge deren sie zuerst über den Punct der gröſsten Feuchtigkeit hinausgingen, dann sich wieder verkürzten und endlich erst stationär würden, überhaupt aber in der Nähe dieses Punctes sich nicht regelmäſsig ausdehnten, einen Fehler, welchem auch Fischbeinstreifen nach den Längenfibern ausgesetzt wären. De Saussüre vertheidigte sein Hygrometer gegen die Vorwürfe des de Lüc, Chiminello und Giov. Bapt. da St. Martino dadurch, daſs er behauptete, diese hätten untaugliche Haare (cheveux retrogardes) angewandt[2], und auſserdem mache der zwischen den Fasern des Fischbeins enthaltene thierische Leim diese Hygrometer unsicher,

---

1 Idées sur la Météorologie. T. I. Sect. 1. ch. 8. Phil. Trans LXXXI. p. 1. u. p. 389. übers. in Gren. J. d. P. V. 279. Phil. Trans. LXXXII. p. 400. übers. in Gren. J. d. Ph. VIII. p. 141. Monthly Review LI. 224. LXXI. 213. LXXVI. 236. New ser. 1791. p. 133. Journ. de Ph. XXXII. 132.

2 Journ. de Phys. 1788. Janv. u. Fev. T. XXXII. p. 24 u. 98.

Digitized by Google

auch sey schon vollkommene Sättigung der Luft mit Feuchtigkeit vorhanden; wenn das von de Lüc angegebene erst 80 bis 81 Grade zeige. Hinsichtlich dieses letzteren Einwurfes hat de Saussüre gewiſs Recht, insofern die Luft nie einen Grad der Feuchtigkeit annehmen kann, welcher auf die hygroskopische Substanz so wirkt, als die unmittelbare Berührung mit Wasser. Soll aber das Letztere als Punct der gröſsten Feuchtigkeit gelten, dann hat de Lüc als Resultat seiner genauen Versuche erwiesen, daſs das Haar in der Nähe dieses Punctes sich unregelmäſsig ausdehnt. Sollen daher beide auf einander reducirt werden, so hat de Lüc hierfür folgende Tabelle für beide Apparate angegeben:

| Fischbein | Haar | Fischbein | Haar |
|---|---|---|---|
| Trocken. 0 | 0,0 | 50 | 85,4 |
| 5 | 12,0 | 55 | 88,4 |
| | | 60 | 90,8 |
| 10 | 29,9 | 65 | 92,8 |
| 15 | 39,9 | 70 | 95,1 |
| 20 | 50,8 | 75 | 97,1 |
| 25 | 58,8 | 80 | 98,1 |
| 30 | 65,3 | 85 | 99,1 |
| 35 | 70,8 | 90 | 99,6 |
| 40 | 76,1 | 95 | 100,0 |
| 45 | 81,4 | 100 | 99,5 Wasser. |

Will man nach dieser Zusammenstellung die hygrometrische Eigenschaft der Fischbeinstreifen nicht ganz in Zweifel ziehen, so muſs man annehmen, daſs das Uebergewicht des Vertrauens auf seine Seite falle, und dieses wird dadurch um so wahrscheinlicher, daſs die flachen Querfibern des Fischbeins leichter die nur geringen Quantitäten der Feuchtigkeit zwischen sich aufnehmen und dadurch eine der Menge der Feuchtigkeit proportionale Ausdehnung erleiden, als ein röhrenförmiges Haar. Es läſst sich dieses indeſs bloſs wahrscheinlich machen, und keineswegs zur vollen Gewiſsheit erheben. Nach welchen Grundsätzen man übrigens aus den Graden der genannten Hygrometer auf die Quantität der in der Luft enthaltenen Wassermenge schlieſst, wird später unter der Theorie gezeigt werden.

De Saussüre's Hygrometer ist später verschiedentlich abgeändert, oder, wie man meinte, verbessert. Riché z. B. nahm statt eines Haares 8 mit einander verbundene, um die

Digitized by Google

Reibung der Zapfen am Zeiger leichter zu überwinden[1], machte aber dadurch das Instrument bei der ungleichen Beschaffenheit verschiedener Haare offenbar unsicherer. LANDRIANI schlägt vor, mit dem Haarhygrometer eine Vorrichtung zu verbinden, wodurch es seinen höchsten und tiefsten Stand bleibend zeigen soll. Diese ist seinem Thermometrographen genau nachgebildet, und besteht aus einem gezahnten Rade, welches mit der Axe des Zeigers verbunden ist, und durch einen leichten Sperrhaken festgehalten wird. Es sind dann zwei Hygrometer erforderlich, jedes mit einem solchen Rade versehen, jedoch sind die Zähne bei dem einen in entgegengesetzter Richtung von der des andern geschnitten, so daſs das eine beim höchsten, das andere beim tiefsten Stande des ihm zugehörigen Zeigers festgehalten wird[2]. Auſser den Unbequemlichkeiten aber, welche diese Vorrichtung schon beim Barometrographen hat, kommt noch die neue hinzu, daſs schwerlich ein Künstler diesen Mechanismus so fein herstellen kann, als er seyn müſste, wenn die Ausdehnung und Zusammenziehung des Haars ihn bewegen sollte. BABINET dagegen glaubt dieses Hygrometer durch vermehrte Feinheit der Messung verbessern zu können. Zu diesem Ende räth er an, die Scale, welche das Haar bei seiner Verlängerung und Verkürzung durchläuft, vermittelst einer Mikrometerschraube zu messen, wodurch er einen gewöhnlichen Grad in 5 Theile theilt. Das kleine Gewichtchen soll dann am Haare frei herabhängen, und sein jedesmaliger Ort vermittelst eines Mikrometerfadens gemessen werden[3]. Allein nach meiner Ansicht ist das Saussüre'sche Hygrometer fein genug construirt, und hierauf beruhen die Vorwürfe keineswegs, welche demselben mit Recht gemacht werden. Wenn BABINET ferner drei Haare statt eines einzigen wählt, um aus ihnen die mittlere Ausdehnung und Verkürzung zu erhalten, so wird dadurch zwar einerseits Unrichtigkeiten vorgebeugt, andrerseits aber ist die Ausdehnung durch Feuchtigkeit bei verschiedenen Haaren ungleich, daher die Messung schwierig, und das Instrument wird auſserdem hierdurch weit mühsamer zu construiren und kostbarer, ohne daſs man dennoch

---

1 Journ. de Phys. 1789. p. 58. Daraus in Gren J. d. Ph. I. p. 150.

2 Brugnatelli Giorn. Dec. II. T. III. p. 111.

3 Ann. de Chim. et de Ph. XXVI. 367. G. LXXVIII. 77.

Digitized by Google

über die Frage genügende Sicherheit erhält, welches unter den drei Haaren in seinen Angaben das richtigste ist. Die von Cagnazzi[1] vorgeschlagenen Verbesserungen dieses nämlichen Hygrometers betreffen bloſs die Construction desselben, welche deren eigentlich nicht bedarf, und es ist daher überflüssig, sie weiter zu berücksichtigen.

## B. Hygrometer aus dem Pflanzenreiche.

Daſs gemeine hanfene Seile durch Feuchtigkeit verkürzt werden, ist eine so häufig vorkommende Erfahrung, daſs sie den Beobachtern nicht füglich entgehen konnte. Schon Leupold[2] und Wolf[3] erwähnen daher die hieraus verfertigten Hygrometer. Sie bestehen aus bloſsen hanfenen Schnüren, welche an einer Wand mit ihrem einen Ende befestigt werden, am andern, über eine leicht drehbare Rolle geschlungen, aber ein Gewicht mit einem Zeiger tragen. Dringt Feuchtigkeit in die Schnur, und verkürzt sie, so wird das Gewicht und der Zeiger gehoben, und eine lothrechte Scale giebt die Grade an, auf welche der Zeiger bei diesen verschiedenen Zuständen derselben zeigt. Um die Längendifferenz gröſser zu machen, zog man die Schnur auch über mehrere untere einander befindliche Rollen so, daſs die hiernach entstehenden Abtheilungen derselben einander parallel horizontal liefen, und daſs bloſs das eine Ende mit einem Gewichte und Zeiger beschwert war. An eine eigentliche Messung und Bestimmung fester Puncte ist bei einem solchen Apparate nicht zu denken. John Smeaton[4] schlug vor, man solle eine 35 Z. lange und etwa 0,05 Z. dicke hanfene Schnur in Salzwasser sieden, und dann eine Woche lang durch 1 bis 2 Pf. Gewicht ausdehnen, sie dann mit dem einen Ende an einem drehbaren Wirbel befestigen, mit dem andern an einem Zeiger, welcher mit 0,5 Pf. Gegengewicht beschwert sey. Der Zeiger sollte 12 Zoll Länge haben, und mit der Spitze über einem Gradbogen hinlaufen. An einem warmen und heiteren Tage brachte er dann die schon ausgetrocknete Schnur gegen ein Feuer, um ihr

1 Mémoires de l'Acad. des Sc. de Naples. T. I. part. 2. p. 45. Daraus in Férussac Bulletin. 1826. T. I. p. 204.

2 Theat. aerost. cap. VII. p. 283.

3 Nützliche Vers. T. II. S. 7.

4 Phil. Trans. LXI. 198.

völlig die Feuchtigkeit zu entziehen, und stellte dann den Zeiger durch Umdrehung des Wirbels auf 0, befeuchtete demnächst die Schnur mit Wasser, bezeichnete den Stand des Zeigers mit 100, wodurch er eine dieser Schnur zugehörige Theilung erhielt. So sinnreich dieses Verfahren auch ist, so giebt es doch kein noch in unseren Zeiten brauchbares Meſswerkzeug. Statt eines Seiles wählte Dalencé einen bloſsen Papierstreifen[1], und sicher nicht ohne Grund, denn das Papier ist eine vortreffliche hygroskopische Substanz. Ein solcher Streifen wird zwischen zwei Stiften ausgespannt, in der Mitte durch ein kleines Gewicht beschwert, welches einen Zeiger trägt, und wenn dann das Papier sich durch Feuchtigkeit ausdehnt, so sinkt das Gewicht herab, und der Zeiger deutet dieses auf einer Scale an.

Daſs die Holzarten, insbesondere die weichen, sehr hygroskopisch sind, ist eine bekannte Erfahrung[2], und man hat sie daher auf verschiedene Weise zu Hygrometern verwandt. Hautefeuille[3] verfertigte eine Tafel aus zwei dünnen tannenen Bretern in einen eichenen Rahmen gefaſst und an beiden Seiten befestigt. Wenn sich diese dann durch Feuchtigkeit ausdehnten oder durch Trockniſs zusammengezogen, so bewegten sie ein gezahntes Blech, welches eine kleine Welle mit einem Zeiger umtrieb, und auf diese Weise den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre angab. Später hat Täuber[4] mehr Mühe auf die Verbesserung dieses Apparates verwandt, als er verdient, Ferguson aber wählte statt der gezahnten Stange und des Getriebes eine Schnur, welche um eine kleine Rolle geschlungen, und durch ein Gewicht straff gezogen einen langen Zeiger bewegte, um dadurch die kleinen Veränderungen der Ausdehnung mehr zu vergröſsern[5]. Eines ähnlichen Hygrometers bediente sich Coniers[6] zu einer groſsen Reihe von Beobachtungen zur Ausmittelung des hygroskopischen Verhaltens der Atmosphäre in

1 Traités des Baromètres, Therm. et Hygromètres. Amst. 1688. Ein Papierhygrometer wird auch durch John Coventry empfohlen. S. Gren Journ. V. 313.

2 Ausführliche Untersuchungen hierüber von Lampadius findet man in dessen Beiträgen zur Atmosphärologie. S. 210. ff.

3 Pendule perpetuelle. Par. 1678. 4.

4 Acta Erud. Lips. 1687. p. 76.

5 Phil. Trans. Vol. LIV. art. 47. p. 259.

6 Phil. Trans. Nro. 480.

den verschiedenen Jahres- und Tages-Zeiten, und Arderoni empfiehlt es neben dem damals sehr gebräuchlichen aus Badeschwamm. Franklin schlägt minder zweckmäſsig einen Streiſen Mahagoniholz, nach den Queerfibern geschnitten, vor[2]; allein diese Holzart ist weniger hygroskopisch, als das feinadrige und harzarme Tannenholz. Unter die Hygrometer aus Holz gehört endlich auch dasjenige, welches John Leslie[3] nach der Art des ersten von de Lüc angegebenen elfenbeinernen, aus Buchsbaumholz construirt, und dabei durch Vergleichung beider gefunden hat, daſs Buchsbaumholz sich doppelt so stark ausdehnt, als Elfenbein, weswegen jene Substanz vor dieser einen Vorzug verdiente, wenn nicht die Ausdehnung derselben noch unregelmäſsiger wäre. Nahe bei dem Puncte der gröſsten Feuchtigkeit fand er die Ausdehnungen mehr als zwanzigmal gröſser, als in der Nähe des Punctes der gröſsten Trockenheit.

Gräser, Grannen und ähnliche Pflanzentheile sind wiederholt zu Hygrometern vorgeschlagen. Der Pater Maignan scheint zuerst sich des Bartes oder der Granne des wilden Hafers (*avena fatua.* Lin.) bedient zu haben, welche sich durch Feuchtigkeit stark drehet[4]. Eine solche Granne befestigte er lothrecht im Boden einer kleinen Büchse, deren Deckel in Grade getheilt war, zog die Spitze durch die Mitte des Deckels und bog sie um, damit sie als Zeiger dienen mögte. Dr. Hook beschreibt und empfiehlt gleichfalls diesen Apparat[5]. Der Graf de la Guerrande erkannte zufällig die hygroskopische Eigenschaft des Meergrases (*fucus, alga marina*), hing davon einige am Feuer wohl getrocknete Streifen an eine Waagschale, tarirte sie und bezeichnete den Punct, auf welchem ein am Waagebalken befindlicher Zeiger stand, mit 0 als Punct der gröſsten Trockenheit. Wenn dann das Gras Feuchtigkeit anzog, und dadurch um einen Gran schwerer wurde, so bezeichnete er diesen Stand gleichfalls, und theilte die so erhaltenen Abstände in kleinere Theile[6]. Auf welche Weise, oder ob überhaupt der Punct der gröſsten Feuchtigkeit

1 Phil. Trans. XLIV. p. 185.
2 Trans. of the Amer. Soc. of Philad. Lond. 1786. T. II.
3 Kurzer Bericht. u. s. w. p. 106.
4 Dalencé Traité des Thermom. cet. Amst. 1688.
5 Micrographia p. 150.
6 Lichtenb. Mag. III. St. 2. S. 159.

Digitized by Google

gefunden sey, wird nicht angegeben. Bjerkander[1] empfiehlt die getrocknete *Carlina vulgaris*, andere geben den gewundenen Spitzen der Geranien und Pelargonien den Vorzug, wie denn namentlich Barbosa die Spitze des *geranium moschatum* und *malacoides* dazu in Vorschlag bringt;[2] Adie, bekannt durch die Erfindung des Sympiezometer, giebt die innere Haut von *arundo phragmites*, auf gleiche Weise aptirt, wie der Federkiel durch Chiminello und Retzius, als die vorzüglichste hygrometrische Substanz an[3], Poli findet einen bloſsen Hanffaden sehr dazu geeignet[4], andere empfehlen *Andropogon contortus* Lin. als eine höchst empfindliche hygroskopische Substanz[5].

Auſser den hier angegebenen giebt es ohne Zweifel noch eine Menge vegetabilische Substanzen, welche durch höhere Feuchtigkeit der Atmosphäre gewisse Veränderungen erleiden, und deren man leicht mehrere auffinden könnte, wenn es sich der Mühe lohnte, sie aufzusuchen[6]. Unter andern giebt der frisch gemahlene Caffee meistens sichere Zeichen bevorstehenden Regens. Indem er nämlich die Feuchtigkeit begierig anzieht, hängt er sich gern an die Wände der Kasten in den Mühlen an, wenn er eine Menge derselben aus der Atmosphäre erhält.

## C. Hygrometer aus dem Mineralreiche.

Unter die ältesten Hygrometer gehören diejenigen, bei denen die hygroskopische Substanz aus dem Mineralreiche genommen wurde, und bei denen die Vermehrung des Gewichtes durch aufgesogenes atmosphärisches Wasser als Maſs der Feuchtigkeit diente. Vorzugsweise bediente man sich eines Badeschwammes, tränkte diesen in einer Salmiakauflösung[7], hing ihn wohl getrocknet an einen Waage-

1 Neue Schwed. Abhand. T. III.

2 Memorias da Academia Real das Sciencias de Lisboa. 1780 — 88. 4. I. Nro. 10.

3 Edinb. Phil. Journ. N. 1. 32.

4 Elementi di Fisica sperimentale. Venezia 1817. V Vol. 8. III. 88.

5 Asiat. Reas. T. IX. N. II. et IX.

6 Dahin gehört unter andern die getrocknete *Carlina vulgaris* nach Clas Bjerkander in Neue Schwed. Abh. Bd. III.

7 Daſs hierbei der Salmiak die eigentliche hygroskopische Sub-

balken, und stellte das Gleichgewicht durch ein aufgelegtes Gegengewicht her, wodurch der Punct der gröſsten Trockenheit erhalten wurde. Je gröſser dann der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre war, desto mehr betrug das Gewicht des Schwammes, welches durch die Bewegung eines Zeigers angegeben wurde[1]. Arderon verbesserte die ursprüngliche einfache Einrichtung desselben, indem er das eine Ende des Waagebalkens bis 1,5 F. verlängerte, und in eine sehr feine Spitze auslaufen lieſs, welche auf einem getheilten Bogenstücke die Grade der Feuchtigkeit und Trockenheit angab. Der am kürzeren Ende des Waagebalkens hängende Schwamm wurde durch eine von der Mitte des längeren Armes herabhängende feine seidene mit vielen kleinen Gewichttheilchen in gleichem Abstande beschwerte Schnur im Gleichgewichte gehalten, deren unteres Ende auf einem kleinen Tischchen ruhete. So wie der Schwamm durch Feuchtigkeit schwerer wurde, hob er einen gröſseren Theil der Schnur in die Höhe, und dadurch wurde der Gang des Zeigers regelmäſsiger[2]. Burkhard hing statt dessen einen im Centro beweglichen Quadranten so auf, daſs der eine Radius desselben horizontal, der andere lothrecht war. An dem ersteren, etwas vom Mittelpuncte entfernt, war der Schwamm so befestigt, daſs der ihn tragende Faden auf 0 der Theilung des Quadranten für den Punct der gröſsten Trockenheit zeigte. So wie aber der Salmiak des Schwammes Feuchtigkeit aufsog und letzterer dadurch schwerer wurde, zog er den Quadranten herab, und der Faden zeigte auf der Theilung die zugehörigen Grade[3]. Hales und Desagüliers wählten statt des Waagebalkens einen auf zwei sehr feinen Spitzen leicht drehbaren Cylinder mit einem nach Art der Schnecke in den Taschenuhren schneckenförmig eingeschnittenen Kegel. Um das cylindrische Ende des Apparates war der Faden gewunden, welcher den Schwamm trug, um den schneckenför-

---

stanz, der Schwamm aber nur der Träger derselben sey, versteht sich von selbst.

1 Von diesen Hygrometern reden fast alle älteste Beschreibungen meteorologischer Werkzeuge, ohne den ersten Erfinder desselben anzugeben. Vermuthlich ist es durch Otto v. Guericke aus seinem Manometer gebildet, denn R. Boyle kannte dasselbe schon. S. Phil. Trans. VIII. 613.

2 Phil. Trans. XLIV. 96. u. 169.

3 Ann. of Phil. VII. 479.

Digitized by Google

migen Theil aber ein Faden mit einem Gegengewichte. So wie dann der Schwamm an Gewicht zu- oder abnimmt, drehet der Faden desselben den Cylinder, der Faden des Gegengewichtes aber wird auf- und abgewickelt, und wirkt bei der Schnecke auf einen veränderlich langen Hebelarm, wobei das Gewicht zugleich an einer Scale durch seine gröſsere oder geringere Tiefe den Grad der Feuchtigkeit andeutet[1].

Desagüliers schlägt vor, statt des in Salmiak getränkten Schwammes bei dem auf die angegebene Weise construirten Hygrometer lieber ein kleines Schälchen mit irgend einem Salze oder Pottasche zu wählen. Als die beste hygroskopische Substanz betrachtet Lampadius[2] das Kochsalz, namentlich wenn dasselbe einen geringen Antheil salzsaurer Kalk und Thonerde beigemischt enthält. Von diesem wird eine Quantität in der Wärme völlig getrocknet, fein pulverisirt, und dann werden 100 Grane desselben in der einen Schale einer feinen Waage durch eine gleiche Menge Gewichttheilchen ins Gleichgewicht gebracht. Zieht das Salz Feuchtigkeit aus der Atmosphäre an, so sinkt die Wagschaale desselben, und die Menge des atmosphärischen Wasserdampfes wird durch zugelegte Gewichte oder durch den Ausschlag, welchen die Zunge des Waagebalkens zeigt, gemessen. Ein diesem ähnliches Hygrometer bringt Grotthuss[3] in Vorschlag, nämlich schwefelsaures Kali, welches gleichfalls die Feuchtigkeit aus der Atmosphäre anzieht, und die aufgenommene Menge derselben durch sein vermehrtes Gewicht anzeigt; dagegen giebt Nicholson[4] der Schmalte (*Royal Smalt*) den Vorzug vor den Alkalien und Salzen, weil sie die Feuchtigkeit minder begierig, als jene zu thun pflegen, aufnimmt. Viele Untersuchungen über die Hygrometer aus Alkalien und Salzen hat Senebier[5] angestellt, und sie zwar alle sehr geeignet für hygrometrische Bestimmungen gefunden, im Ganzen aber räumt er dem Weinsteinsalze den Vorzug vor andern Salzen und rücksichtlich der regelmäſsigen Gewichtsvermehrung selbst vor den anderweitig ihm bekannten Hygrometern

---

1 Desagüliers Exper. Philos. II. p. 300.
2 Beiträge zur Atmosphärologie. Freyberg. 1817. S. 29.
3 Allgem. Nord. Annalen. VIII. S. 217.
4 S. dessen Journ. of Nat. Phil. VIII. p. 85.
5 Journ. de Phys. 1778. T. I. p. 421.

ein. Gould[1] bemerkte die auſserordentliche Kraft, womit das Vitriolöl die Feuchtigkeit aus der Atmosphäre aufnimmt, und hing daher eine Quantität desselben in einem gläsernen Schälchen an einem empfindlichen Waagebalken auf. Der andere Arm des Waagebalkens wurde mit einem Gegengewichte balancirt und in eine lange Spitze verlängert, welche über einem getheilten Bogenstücke hinlief, und auf demselben die Grade der Feuchtigkeit angab. Statt des Vitriolöls empfiehlt Gould auch Weinsteinöl oder Salpetersäure, allein es leidet keinen Zweifel, daſs ersteres ungleich besser ist. Noch 1819 hat Livingstone in Canton ein solches Hygrometer gebraucht, und eben so genau als empfindlich gefunden. Das Schälchen an dem einen Arme des Waagebalkens enthielt 21 Gr. concentrirte Schwefelsäure von 1,845 spec. Gew. und 29 Gr. Wasser, welche Mischung in sehr feuchter Luft um ihr ganzes Gewicht vermehrt wurde. Die Scale, welche die Zunge des Waagebalkens durchlief, war für jeden Gran in 20 Theile getheilt, und hatte im Ganzen also 1000 Theile[2].

Unter die bekanntesten Hygrometer gehört das von Tobias Lowitz angegebene[3]. Dieser fand an den Ufern der Wolga eine Art dünne bläuliche Schiefersteine, welche die Feuchtigkeit begierig aufnahmen, dann aber leicht wieder abgaben. Ein Täfelchen dieses Thonschiefers wog nach dem Glühen 175 Gran, getränkt mit Wasser 247 Gr., hatte also 72 Gr. Wasser oder mehr als $\frac{1}{2,5}$ seines Totalgewichtes aufgenommen. Einen solchen Stein hing der ältere Lowitz an den einen Arm eines empfindlichen Waagebalkens, und brachte ihn mit einer silbernen Kette am andern ins Gleichgewicht, deren Ende an einem Schieber befestigt war, welcher in einem Falze an einem Brette die

---

1 Phil. Trans. Nro. 156. Acta Erud. Lips. 1685. p. 315.

2 Edinb. Phil. Journ. N. I. p. 116.

3 Götting. Mag. III. Jahrg. St. 4. Nro. 2. Inochodzow behauptet, er sey der eigentliche Erfinder des Lowitz'schen Hygrometers, weil er schon früher diesen Stein zu Dmietriewsk an der Wolga gefunden, den Unterschied seines Gewichtes nach dem Glühen und dem Befeuchten entdeckt, und ihn daher an einer Waage aufgehangen habe, um vermittelst der Differenz des Gewichtes den Feuchtigkeitszustand der Luft zu messen. S. Acta Acad. Pet. II. P. 2. p. 193. vom Jahr 1778.

Digitized by Google

Zunahmen des Gewichtes von 10 zu 10 Granen zeigte, wodurch die Waage einen Ausschlag erhielt. Wenn dann der Stein durch die Feuchtigkeit der Atmosphäre schwerer wurde, so zeigte der Schieber dieses an, indem man ihn dahin stellte, wohin der Ausschlag des Waagebalkens es forderte. Lowitz fand auf diese Weise, daſs der Stein bei sehr feuchtem Wetter 55 Gran, bei sehr trockenem nur 1,5 Gr. Feuchtigkeit zeigte. Auſser andern Schwierigkeiten steht aber der Anwendung dieses Hygrometers noch die Seltenheit des Steines entgegen, und auſserdem theilt es den gemeinschaftlichen Fehler fast aller, nämlich daſs der Stein allmälich seine hygroskopische Eigenschaft verliert. Man hat anstatt dieses Astrachan'schen Schiefers auch das Weltauge oder den Hydrophan empfohlen[1], eine Art Opal, welche die Feuchtigkeit begierig aufsaugt; Lüdicke aber hat eine Verbesserung des Waagebalkens in Vorschlag gebracht, um die Vermehrungen des Gewichtes mit gröſserer Regelmäſsigkeit messen zu können, und dieses Hygrometer mit dem Haarhygrometer vergleichbar zu machen[2]. Hochheimer wandte gegen den Lowitz'schen Schiefer ein, daſs er die angenommene Feuchtigkeit nicht gern abgebe, und schlug daher eine matt geschliffene Glastafel statt desselben vor[3]. Diese soll man mit Asche ganz trocken reiben, und den Standpunct der Zunge einer Schnellwaage mit 0 bezeichnen, auf welchen diese zeigt, wenn die Glastafel mit einem Bleigewichte am andern Ende ins Gleichgewicht gebracht ist, dann die Tafel ins Wasser tauchen, durch Schleudern das anhängende Wasser entfernen, wieder an die Waage hängen, und den Stand des Zeigers als gröſste Feuchtigkeit bemerklich machen. Wird dann die Waage in ein Kästchen gesetzt, durch dessen Deckel die Zeigerspitze hervorragt, und sind an einem Gradbogen die Unterschiede der Feuchtigkeit bezeichnet, so hat man ein empfindliches Hygrometer. Gilbert[4] macht die Einwendung, daſs diese beiden Apparate zugleich als Manometer wirken müssen, und manche aus der Vergleichung mit dem Haarhygrometer hervorgehende Abweichungen hieraus erklärlich werden könnten; allein bei der geringen

---

1 Schreber im Naturforscher. Halle 1783. St. 19.

2 G. I. 297. ff.

3 Leipzig. Oekon. Hefte. B. VIII. Hft. 5. von 1798.

4 Ann. der Phys. I. 314.

Gröſse, wenigstens des Steines und seinem nicht ganz kleinen specifischen Gewichte, ist der aërostatische Einfluſs auf sein Gewicht, sofern es aus der veränderlichen Beschaffenheit der Atmosphäre hervorgeht, eine verschwindende Gröſse, wie Lüdicke durch Rechnung gezeigt hat[1]. Gegen die Anwendung der Glastafel macht ebenderselbe die Einwendung, daſs das Glas ein zu schlechter Wärmeleiter sey, und sich daher keine Feuchtigkeit anlege; allein bei den langsam vorgehenden Temperaturveränderungen versteht es sich wohl von selbst, daſs eine Glastafel zwar allmälig Staub aufnehmen wird, aber nie als Hygrometer dienen kann. Lüdicke bot zugleich von ihm selbst verfertigte hygrometrische Steine an, allein sie sind nie in Gebrauch gekommen[2].

Neuerdings hat de la Rive[3] abermals die Schwefelsäure als hygrometrische Substanz in Vorschlag gebracht, jedoch auf eine ganz verschiedene Weise, als dieses durch Gould geschehen ist. Man soll nämlich eine feine Thermometerkugel in concentrirte Schwefelsäure tauchen, so daſs ein dünner Ueberzug derselben daran hängen bleibt, und sie dann in die freie Luft halten. Da die Schwefelsäure sehr begierig Wasser anzieht, und sich durch Verbindung mit demselben erhitzt, so läſst sich aus der Temperaturerhöhung auf den Grad der Feuchtigkeit in der Atmosphäre schlieſsen. Das Princip ist allerdings richtig und sinnreich ausgedacht, allein das Verfahren ist zu sehr zusammengesetzt, wie de la Rive selbst zugesteht, als daſs vergleichbare Instrumente auf diese Weise zu erhalten wären, weil namentlich eine groſse Schwierigkeit der Bestimmung in dem Grade der Concentration der Schwefelsäure liegt, wonach sie leichter und schneller die Feuchtigkeit aufnimmt.

## D. Hygrometer durch Verdunstung und Niederschlag.

Wenn der Abbé Mann vorschlug, die Feuchtigkeit der Luft durch die verminderte Wirkung der Elektrisirmaschine zu messen[4],

1 G. II. 73.

2 Vergl. ebend. V. 79.

3 Bibl. univ. XXVIII. 285.

4 Comment. Acad. Theod. Pal. Vol. VI. Phys. Manh. 1790. 4. Nro. 4.

Digitized by Google

so kann dieser Gedanke historisch erwähnt werden, allein daſs derselbe zu keinem eigentlichen, vielweniger einem brauchbaren Messwerkzeuge führe, bedarf kaum gesagt zu werden.

Dasjenige Princip, worauf die neuesten eigentlichen Hygrometer gegründet sind, ist schon früh als solches aufgestellt, und es bedurfte nur einer zweckmäſsigen Anwendung in einem schicklich hergestellten Apparate, um durch diesen die wirkliche Messung zu erhalten. Zuerst nahmen die Mitglieder der *Academia del Cimento* ein konisches Gefäſs von Glas, füllten dieses mit Schnee oder geschabtem Eise, hingen es mit der Spitze nach unten gekehrt auf, worauf die atmosphärische Feuchtigkeit sich während einer gleichen Zeitdauer in ungleicher Menge daran niederschlug, und als Wasser herablief, aus dessen Menge dann der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre bestimmt werden konnte[1]. Fontana dagegen erkältete eine reine und völlig getrocknete Glastafel bis auf eine gewisse Normaltemperatur, setzte sie dann eine bestimmte Zeit der Luft aus, und bestimmte den Feuchtigkeitszustand von dieser durch die Gewichtszunahme der vorher tarirten Tafel[2]; ein Verfahren, welches vor jenem ursprünglich vorgeschlagenen keineswegs einen Vorzug verdient. Ungleich zweckmäſsiger verfuhr le Roy[3]. Dieser erkältete ein Glas mit Wasser von der Temperatur der äuſsern Luft durch hinzugegossenes eiskaltes so lange, bis die Oberfläche des Glases durch niedergeschlagenen Wasserdunst etwas getrübt wurde, und schloſs aus der Temperatur, welche das enthaltene Wasser dann zeigte, auf die Menge der atmosphärischen Feuchtigkeit. Ist dieses Verfahren gleich unvollkommen, so hat es doch offenbar der neueren Hygrometrie den richtigen Weg gezeigt.

Eine unmittelbare Anwendung dieses durch le Roy angegebenen hygrometrischen Princips machte Berzelius, indem er ein empfindliches Thermometer mit einem ovalen Gefäſse von polirtem Stahle in Berührung mit einem Glase setzte, worin sich eine kaltmachende Mischung befand, und denjenigen Thermometergrad beobachtete, bei welchem der feinste wässerige Ue-

---

1 Tentamina Experim. nat. cet. ed. P. van Musschenbroek. L. B. 1731. 4.

2 Saggio del Real Gabinetto di Firenze. p. 19.

3 Mém. de l'Acad. de Paris. 1751.

berzug die polirte Thermometerkugel zu überziehen anfing[1]. Indeſs ist es schwierig und kostbar, ein solches Thermometer zu verfertigen; der Stahl unterliegt der Gefahr des Rostens, und die ganze Methode ist sehr zusammengesetzt. Ungleich bequemer ist dagegen das durch Daniell vorgeschlagene Hygrometer, welches daher auch nach langem Streben ein braucbheres Instrument dieser Art zu besitzen, mit sehr groſsem Beifalle aufgenommen wurde. Der Erfinder erzählt selbst[2], durch welche Ueberlegungen er zur Construction dieses Instruments gekommen sey, wobei namentlich Wollaston's Kryophorus und Dalton's Verfahren einen feuchten Niederschlag auf der Auſsenseite erkälteter Gefäſse zu erzeugen[3] geleitet habe, die früheren Versuche der *Academia del Cimento* und le Roy's aber erst später bekannt geworden seyen[4].

Nach manchen vergeblichen Versuchen construirte Daniell sein Hygrometer auf folgende Weise. Auf einem hölzernen
Fig. 140. Fuſsgestelle ist eine vierkantige, in der Mitte aufgeschlitzte Säule g h aufgerichtet, welche oben eine messingene Fassung i zum Festhalten der gläsernen Röhre trägt. In der Mitte dieser Säule ist das Thermometer k l mit einer elfenbeinenen transparenten Scale befestigt, welches die Temperatur der Luft anzuzeigen dient. Den Hauptheil des Instrumentes bilden die beiden durch eine Röhre verbundenen Glaskugeln a und b. In dem etwas längeren Schenkel der zur Kugel b führenden Glasröhre ist das kleine Thermometer d e mit einer gleichfalls transparenten Scale befestigt, dessen Kugel in die Naphtha herabreicht, womit die Kugel b zum Theil gefüllt ist. Die Kugel a läuft in die feine Spitze f aus, durch welche die Dämpfe des erhitzten Schwefeläthers entweichen können. Ist nämlich das Instrument so weit vorgerichtet, und die Kugel b etwa zur Hälfte mit Schwefeläther gefüllt, so wird letzterer zum Sieden gebracht, die Kugel a zugleich über den Siedepunct der Flüssigkeit erhitzt, und wenn

---

1 Afhandl. i Fysik, Kemi cet. II. 35. Tillochs Phil. Mag. 1809. Jan. p. 39.

2 Quarterly Journ. of Science. 1820. Jan. Daraus in Gilb. Ann. LXV. 169. Meteorological Essays and Observations. By J. Fred. Daniell, F. R. S. Lond. 1823. 8. p. 139. ff.

3 Memoirs of the Phil. Soc. of Manchester. Vol. V. p. 86.

4 Die Versuche, welche Fontana und Berzelius angegeben haben, scheint Daniell auch später nicht gekannt zu haben.

Digitized by Google

dann alle Luft aus beiden Kugeln und der Verbindungsröhre durch den Aetherdampf entfernt ist, so wird die Spitze f an der Lampe zugeschmolzen, die Kugel a mit einer Lage Musselin überzogen, und das Instrument ist fertig. Beim Gebrauche desselben bedient man sich eines kleinen Fläschchens mit Schwefeläther, gieſst davon einige Tropfen auf den Musselin der Kugel a, wodurch in dieser eine bedeutende Kälte erzeugt wird, und wenn diese dann sich mit den Dämpfen des Aethers in der Kugel b füllt, letztere aber hierdurch bedeutend erkältet wird, so beobachtet man den Augenblick, in welchem sich der erste Niederschlag aus der Feuchtigkeit der Luft auf dieser Kugel zeigt, bemerkt den Stand des in dieser eingeschlossenen Thermometers, und erhält auf diese Weise die Temperatur des Thaupunctes so wie zugleich den Abstand desselben von der Temperatur der Luft, wodurch dann der Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre gegeben ist. Daniell nimmt nämlich an, daſs der in der atmosphärischen Luft enthaltene Wasserdampf den durch die Temperatur bedingten Punct seiner gröſsten Dichtigkeit bei demjenigen Thermometergrade habe, bei welchem die ersten Spuren des Niederschlags sich zeigen, und da diese Temperatur durch das in der Kugel b befindliche Thermometer angegeben wird, so hat man hierdurch unmittelbar die gesuchte Bestimmung, und die Differenz beider Thermometer zeigt zugleich, wie weit die Temperatur herabgehen müſste, um einen Niederschlag aus der Atmosphäre zu bewirken, also zugleich auch hierdurch den Feuchtigkeitszustand.

Daniell ward bald inne, daſs die Wahrnehmung des feinsten Niederschlages auf dem transparenten Glase sehr schwierig ist, und da das in der Kugel b eingeschlossene Thermometer durch den hohen Grad der Verdunstungskälte sehr schnell sinkt, so wird dadurch die Beobachtung des eigentlichen Thaupunctes schwierig und das ganze Instrument unsicher; er suchte daher die Kugeln aus Metall zu erhalten, dessen Politur eine ungleich schnellere und sicherere Wahrnehmung des feinsten wässerigen Ueberzuges gestattet. Zu diesem Ende behielt er das Gestell Fig.
bei, lieſs aber die Kugeln und die Verbindungsröhre von sehr 141.
dünnem Messingblech verfertigen, das Thermometer de vermittelst einer messingenen Fassung in die Kugel b einsenken, die Kugel a mit einer feinen Röhre aus Platin versehen, in welche eine Glasröhre f eingeschmolzen war, und diese wurde alsdann

zugeschmolzen, nachdem der Apparat auf die angegebene Weise luftleer gemacht war. Solche Hygrometer verfertigte der englische Künstler Newman, und es läſst sich nicht in Abrede stellen, daſs der feinste wässerige Niederschlag auf einer polirten Metallfläche ungleich leichter sichtbar wird, als auf Glase; allein daſs man nicht sehen kann, wie weit die Kugel b mit Naphtha gefüllt ist, und ob die Kugel des Thermometers, welches übrigens bei dieser Vorrichtung eine längere Scale gestattet, wirklich in den Schwefeläther eingetaucht ist, steht allerdings der Brauchbarkeit des Apparates im Wege. Obgleich ich übrigens nicht zweifle, daſs solche Hygrometer von geübten Künstlern verfertigt werden könnten, und einige mir auch erklärten, daſs sie dieses Problem zu lösen gern bereit seyen, so haben doch die Berliner Mechaniker die Ausführung für unthunlich erklärt[1], und ich glaube immer, daſs die Verbindung des Glasröhrchens mit einem Platinaröhrchen sehr groſsen Schwierigkeiten unterliegt. Man darf es daher als eine groſse Verbesserung betrachten, daſs der jüngere Greiner in Berlin das anfängliche Hygrometer auf eine solche Weise einrichtet, daſs dasselbe ohne Rücksicht auf die Einwendungen gegen das Princip im Allgemeinen nichts zu wünschen übrig läſst, hauptsächlich wenn man zugleich die äuſsere Eleganz und die vollkommene Uebereinstimmung beider Thermometer mit in Anschlag bringt. Die Verbes-
Fig. 140. serung besteht darin, daſs die Kugel d des kleinen Thermometers gerade bis in die Mitte der Kugel b und bis zu ihrer Hälfte in die darin eingeschlossene Naphtha hinabreicht, die Kugel b selbst aber auswärts in ihrer Mitte mit einer 1,5 Lin. breiten Zone des feinst polirten Goldes umgeben ist. Indem sonach der Schwefeläther an seiner Oberfläche am stärksten verdunstet, und hier am kältesten wird, so theilt er seine Temperatur zugleich der Thermometerkugel und der Mitte der vergoldeten Zone mit, auf welcher der feinste Niederschlag dann sogleich sichtbar wird. Hierdurch ist also das hygrometrische Princip in gröſster Vollkommenheit ausgeführt, in wie fern dasselbe indeſs Anwendung verdient, wird späterhin unter der Theorie gewürdigt werden.

Man hat seitdem das Daniell'sche Hygrometer wegen seines hohen Preises[2] zu vereinfachen gesucht. Dahin gehört haupt-

1 G. LXVIII. 72.

2 Es kostet bei Greiner in Berlin 10 Rthlr. pr. Cour., welches bei der Schönheit des Instruments mir nicht zu viel zu seyn scheint.

Digitized by Google

sächlich ein sinnreicher Vorschlag von Döbereiner[1]. Dieser nimmt ein kleines cylindrisches Gefäſs von dünnem Messingblech A, füllt in dasselbe etwas Aether, und schraubt die Oeffnung mit einem Deckel b zu, durch dessen Mitte ein feines Thermometer so herabgelassen ist, daſs seine Kugel von dem Aether umgeben wird. Eine feine Röhre a ist in diesem Gefäſse am Rande desselben bis auf den Boden herabgesenkt, und mit vielen kleinen Löchelchen versehen, damit die aus diesen dringende Luft durch die Flüssigkeit aufsteigt, und mit Aetherdampf gesättigt aus der Röhre c entweichen kann. Eine lothrecht herabgehende Röhre, welche zugleich als Träger des Thermometers e g dient, verbindet diesen Apparat mit einer Vorrichtung zum Anschrauben an den Tisch und mit einer Compressionspumpe B, deren Embolus ein Blasenventil hat, welches sich beim Aufziehen öffnet, beim Niederdrücken schliesst, während ein anderes Blasenventil in der Röhre den Rückgang der hineingetriebenen Luft hindert. Wird die Pumpe in Bewegung gesetzt, so strömt Luft durch den Aether, kühlt ihn vermöge der bewirkten Verdampfung bedeutend ab, und der Cylinder zeigt den feinen Niederschlag der atmosphärischen Feuchtigkeit so viel sicherer, weil man die Verdampfung durch langsamere Zuführung der Luft verzögern kann. Vergleichbare Versuche mit diesem und einem ächten Greiner'schen entschieden zum Vortheil des ersteren, und da man dieses bequemer in ein Futteral packen, und ohne Gefahr der Beschädigung leicht transportiren kann, so verdiente es eine vorzügliche Empfehlung, wenn nicht gegen diese Gattung von Hygrometern überhaupt gegründete Einwendungen gemacht werden könnten. Noch einfacher ist das durch Körner[2] vorgeschlagene Instrument. Dieses besteht aus einem bloſsen Thermometer mit aufwärts gebogener und oben wieder vertiefter Kugel a, in welche etwas Baumwolle gelegt und diese mit einigen Tropfen Schwefeläther befeuchtet wird. Schon die bloſse Verdampfung dieser äuſserst flüchtigen Substanz erkältet die Kugel beträchtlich, noch mehr aber geschieht dieses, wenn man Luft vermittelst eines Löthrohrs gegen die Baumwolle bläst. Es ist dann nicht schwer, die Thermometerkugel so weit zu erkälten, daſs sich der Niederschlag des atmosphärischen Dunstes

Fig. 142.

Fig. 143.

1 G. LXX. 136.

2 Ebend. p. 139.

auf ihrer Oberfläche zeigt, und überhaupt läſst sich bei den beiden letztgenannten Instrumenten die Temperatur leicht weit unter den Eispunct herabbringen, jedoch wird an dem Körner'schen der feine Niederschlag bei weitem nicht so sicher auf der Glasfläche wahrgenommen, als auf einer polirten Metallfläche[1]. Es ist daher ein nicht verwerflicher Vorschlag, welchen v. Bohnenberger[2] zur Herstellung eines sehr einfachen Hygrometers gethan hat, nämlich die Kugel eines empfindlichen Thermometers mit einer Lage Musselin zu überziehen, und über diese einen dünnen gläsernen, auswärts vergoldeten Cylinder zu schieben, dessen Höhe 1,5 seines Durchmessers beträgt. Damit letzterer keine Risse bekommt, thut man wohl, die Mitte der Kugel mit einigen Lagen Musselin zu umgeben, ehe man sie in den Cylinder schiebt. Für den Gebrauch gieſst man einige Tropfen Aether oben in den Cylinder, dessen Verdunstung Kälte, und letztere einen Niederschlag auf der Mitte des vergoldeten Cylinders erzeugt. Beim Eingieſsen des Aethers ist indeſs Vorsicht nöthig, damit die vergoldete Oberfläche nicht benetzt werde, weil sich sonst der Dunst nicht ansetzt. Vergleichbare Versuche gaben mit dem Daniell'schen Hygrometer nahe übereinstimmende Resultate[3].

Nicht bloſs in Deutschland, sondern auch in Groſsbritannien hat man das Daniell'sche Hygrometer in mehrfach veränderter Form dargestellt. Insbesondere ist dieses durch Thomas Jones geschehen[4], welcher genau so wie Körner die Kugel eines Thermometers in die Höhe zu biegen und mit Aether zu erkälten vorschlug, bis sich der Wasserdunst aus der Atmosphäre daran niederschlüge; inzwischen hat Daniell selbst wegen eines feinen Ueberzuges von Aether, welcher sich der Oberfläche der

1 Körner versichert a. a. O., daſs er die Kugeln der Daniell'schen Hygrometer auch aus Metall verfertige, allein solche sind mir noch nicht zu Gesicht gekommen, und können wahrscheinlich mit den Greiner'schen die Concurrenz nicht aushalten.

2 Naturwissensch. Abhandl. II. 164.

3 Auch Körner verfertigt solche Hygrometer aus einem feinen Thermometer bestehend, auf dessen Kugel von unten herauf ein vergoldeter metallener Cylinder geschoben wird. Aus eigener Anschauung sind mir indeſs diese Apparate nicht bekannt.

4 Phil. Trans. 1826.

Digitized by Google

Kugel leicht mittheilt, dieses für unzweckmäſsig erklärt[1]. Brewster[2] giebt zwei auf ähnliche Weise construirte Hygrometer an. Das eine derselben besteht aus einem feinen Ther- Fig. 144.
mometer mit einem Ringe von Messing, welcher mit etwas Gummi um die Mitte derselben geklebt ist, und dazu dienen soll, daſs der auf die obere Hälfte der Kugel getröpfelte Aether nicht auf die untere herabläuft, und die Beobachtung des feinen Niederschlages auf der letzteren hindert. Man sieht bald, wie sehr das Aufgieſsen des Aethers durch die Thermometerröhre erschwert wird, und dieses zog also diejenige Abänderung des Apparates herbei, wonach die Kugel wieder in die Höhe gebogen ist, der Fig. 145.
Aether von oben frei aufgetröpfelt wird, wegen des Ringes nicht herablaufen kann, der niedergeschlagene Dunst sich aber an dem unteren Theile der Kugel zeigt. Inzwischen ist es sehr schwer, auf gewöhnlichem Glase den feinsten Thau wahrzunehmen, und dieser Umstand veranlaſste die folgende Verbesserung dieses Hygrometers.

Das neueste Hygrometer, auf das nämliche Princip gegründet, ist von Thomas Jones[3] angegeben. Das Ganze, zum Gebrauche bequem eingerichtet, in einem Kästchen, worin sich Fig. 146.
zugleich eine kleine Flasche mit Aether befindet und ein einzuschraubender Draht, um den Apparat daran aufzustellen, besteht im Wesentlichen aus einem rechtwinklich gebogenen Thermometer, dessen Cylinder oben etwas erweitert und mit einer wenig gebogenen schwarzen Wölbung versehen ist. Um den unteren Theil des Cylinders ist ein Ueberzug von Seide oder Musselin befestigt. Hat man also den Apparat so aufgestellt, wie die Figur ihn zeigt, so giebt derselbe, als bloſses Thermometer, die Temperatur der Luft an; es wird dann aus dem, im Kästchen liegenden Gläschen etwas Aether auf den Ueberzug getröpfelt, und während dessen Verdunstung die Temperatur des Thermometers herabbringt, schlägt sich die Feuchtigkeit der Atmosphäre auf der oberen schwarzen Oberfläche nieder, und der Stand des Thermometers im ersten Augenblicke, wenn dieses geschieht, giebt den Thaupunct an. Jones gesteht selbst, daſs er diese Construction aus einer ihm mitgetheilten Nachricht,

1 Journ. of Sc. and arts. N. XLII. 320.

2 Edinb. Journ. of Sc. N. VII. p. 127.

3 Phil. Trans. 1827. II. 63.

Digitized by Google

eines ähnlichen, durch Baumgartner angegebenen Apparates entnommen habe. Inzwischen scheint mir dieses sehr brauchbare und bei hinlänglicher Feinheit des Thermometers höchst empfindliche Hygrometer noch zwei wesentliche Verbesserungen zu bedürfen. Zuerst nämlich ist die obere Platte aus schwarzem Glase schwer anzubringen, indem die ungleichen verbundenen Glassorten leicht beim Auskochen des Thermometers zerspringen, welches ohnehin bei der doppelten Biegung schwierig ist, und es würde daher besser seyn, diese, wie bei Daniell's Hygrometer, von gewöhnlichem Glase zu verfertigen und zu vergolden, da man ohnehin auf dem polirten Golde den feinsten wässerigen Niederschlag sogleich wahrnimmt. Zweitens aber ist es nicht zweckmäſsig, daſs die gewölbte Platte, auf welcher man den feinsten Niederschlag aus der Atmosphäre beobachten will, von dem hohlen Cylinder des aufsteigenden Aetherdampfes ganz umgeben ist. Ungleich besser würde es daher seyn, das Thermometer nur einmal rechtwinklich zu biegen, so daſs man den Aether von oben auf den mit Musselin umgebenen Cylinder tröpfeln, und den wässerigen Niederschlag von der Seite auf der vergoldeten Oberfläche beobachten könnte. Ohnehin scheint es mir sehr schwierig, den Aether bei aufrechtstehendem Cylinder an den Musselin zu bringen, ohne zugleich die schwarze Oberfläche damit zu benetzen, in welchem Falle aber die Beobachtung des Niederschlages sehr erschwert oder ganz unmöglich gemacht würde.

Dem nach Döbereiner's Angabe verfertigten Hygrometer ähnlich, aber an Brauchbarkeit ihm nachstehend, ist dasjenige, welches Cumming[1] in Vorschlag bringt. Dieses besteht aus einer cylindrischen Glasröhre, an welcher oben und unten eine Fortsetzung von polirtem Messing angekittet ist. In dieser befindet sich ein feines Thermometer so, daſs die Scale durch die Glasröhre abgelesen werden kann, die Kugel aber mit Badeschwamm oder einer andern lockeren Substanz umgeben ist. Auf diese wird Schwefeläther, Alkohol oder eine andere sehr flüchtige Substanz gegossen, und wenn dann oben eine Verbindung mit irgend einem luftleeren Raume hergestellt ist, in welchen der Dampf begierig eindringt, so erzeugt dieses Kälte im Cylinder

1 Quarterly Journ. of Sc. Lit. and Art. N. Ser. N. VI. p. 402.

Digitized by Google

und hierdurch einen Niederschlag auf der metallenen Oberfläche desselben.

Bei den bisher beschriebenen, auf das Princip der durch Verdampfung erzeugten Kälte gegründeten Hygrometern wird ein Körper so weit erkältet, bis er den in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampf als wässerigen Niederschlag auf seiner Oberfläche zeigt; es giebt aber noch eine zweite Classe solcher Apparate, bei denen man vielmehr aus dem durch die Atmosphäre aufgenommenen Wasserdampfe auf die Menge der darin schon vorhandenen Feuchtigkeit schlieſst. August hat dieses Problem im weitesten Umfange behandelt, und ein höchst zweckmäſsig eingerichtetes Werkzeug ausführen lassen, welchem er den Namen *Psychrometer* gab, weswegen dieser auch künftig beibehalten werden mag.

Das erste, seit geraumer Zeit bekannte, Werkzeug dieser Art ist Leslie's Differenz- oder Differenzialthermometer [1], welches nach seiner vielseitigen Anwendung besondere Namen erhält, und für die hier zu untersuchende specielle Bestimmung auch Hygrometer genannt wird. Es war im Jahre 1799, als der Erfinder diesen höchst sinnreich construirten Apparat bekannt machte, welcher auch sofort mit ungetheiltem Beifalle aufgenommen wurde [2]. Bekanntlich besteht das Differenztalthermometer aus zwei durch eine gemeinschaftliche Röhre verbundenen Kugeln mit Luft oder Dampf gefüllt; bei einer ganz gleichen Temperatur beider Kugeln steht ein Tropfer einer gefärbten Flüssigkeit genau in der Mitte der verbindenden Röhre; wird dagegen die expansibele Flüssigkeit in einer derselben erwärmt oder erkältet, so bewegt sich die tropfbare Flüssigkeit in der Röhre, und bezeichnet ihren ungleichen Stand auf einer zum Messen dienenden Scale. Leslie empfiehlt gefärbte Schwefelsäure als Flüssigkeit zur Bezeichnung des ungleichen Standes in die verbindende Röhre zu bringen, allein nach meinen eigenen und fremden Erfahrungen werden die Apparate ungleich empfindlicher, wenn man etwas Alkohol oder Aether darin zum Sieden bringt, und nachdem alle Luft durch die Dämpfe ausgetrieben ist, von der Flüssigkeit aber nur noch wenige Tropfen vorhanden sind, die feine Spitze an der Lampe zuschmelzt. Man erhält

1 Dessen Beschreibung S. Th. II. S. 535.

2 Nicholson Journ. of Nat. Phil. III. 461. G. V. 235.

Digitized by Google

auf diese Weise ein sehr empfindliches Thermometer, welches die geringsten Veränderungen der Temparatur anzeigt, sobald eine der beiden Kugeln einseitig dadurch afficirt wird. Als Hygrometer oder Psychrometer dient dasselbe daher dann, wenn man die eine Kugel mit etwas Papier oder Musselin überzieht, und diese mit Wasser befeuchtet. Letzteres wird dann um so viel schneller in Wasserdampf verwandelt, je begieriger die Luft wegen ihrer Trockenheit denselben aufnimmt, und da die Wärme, welche das Wasser bei seiner Verwandlung in Dampf den mit ihm in Berührung befindlichen Körpern entzieht, der Menge des erzeugten Dampfes proportional ist, so kann man aus der erzeugten Kälte und dem veränderten Stande des Differenzialthermometers auf die Trockenheit der Atmosphäre schieſsen. Wenn es nun gleich wahr ist, daſs Leslie's Hygrometer die durch Verdunstung erzeugte Kälte wegen seiner groſsen Empfindlichkeit sehr bald anzeigt, und dabei verhältniſsmäſsig sehr groſse Räume durchläuft, daſs ferner der benetzten Kugel so viel mehr Wärme entzogen wird, je trockener die Luft ist, mithin aus der Gröſse der Differenz des Standes beider Thermometer mit Sicherheit auf eine geringe Menge in der Atmosphäre vorhandene Feuchtigkeit geschlossen werden kann, so ist es doch einerseits äuſserst schwierig, das Differenzialthermometer auf wirkliche Grade der Temperatur mit einiger Sicherheit so zu reduziren, daſs diese durch diejenigen Theile angegeben werden, welche auf seiner Scale den Unterschied der Temperatur beider Kugeln bezeichnen; ganz unmöglich aber ist es, mit demselben die eigentliche Temperatur zu messen. Indem aber die Dichtigkeit der Dämpfe eine bloſse Function der Wärme ist, so geht hieraus schon unmittelbar hervor, daſs das Differenzialthermometer, obgleich sehr geeignet, die kleinsten Unterschiede der Temperatur anzugeben, die Forderungen an ein Hygrometer keineswegs vollständig erfüllt. Auf den ersten Blick scheint es zwar, als könnte man diesem Mangel durch Verbindung desselben mit einem gemeinen Thermometer abhelfen, um durch dieses die absolute Temperatur zur Zeit der Beobachtung zu messen, allein theils steht der Anwendung dieses Hülfsmittels die angegebene Schwierigkeit, nämlich die Scale des Differenzialthermometers nach einer eigentlichen Thermometerscale zu theilen, als bedeutendes Hinderniſs entgegen, theils werden die Kugeln dieses Apparates leicht durch andere Bedingungen, als gerade durch

Digitized by Google

die künstlich erzeugte Verdunstung afficirt, namentlich durch den Einfluſs des Lichtes, so daſs es diesemnach für hygrometrische Messungen allezeit ein trügerisches Instrument bleiben wird. Manche haben dasselbe daher allerdings den übrigen, früher bekannten Hygrometern vorgezogen[1], allein Böckmann fand dasselbe nach einer langen Reihe sorgfältiger Beobachtungen unsicher[2], und eben daher ist es auch als eigentliches Hygrometer nie sehr in Aufnahme gekommen.

Die merkbare Mangelhaftigkeit des Leslie'schen Hygrometers führte schon Lüdicke auf einen Apparat, welcher nur seiner Unvollkommenheit wegen weniger beachtet wurde, übrigens aber auf das späterhin durch August so höchst zweckmäſsig ausgeführte Princip gegründet ist. Er wollte nämlich auf der nämlichen Scale zwei sehr feine Thermometer neben einander lothrecht herabhängend vereinigen, das eine unten umbiegen, um dessen Kugel unter die des andern zu bringen, jener ersteren Kugel von oben her eine Vertiefung geben, in diese einige Tropfen Wasser gieſsen, und aus der Kälte, welche dessen Verdunstung erzeugte, auf den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre schlieſsen[3]. Es ist klar, daſs der Unterschied der Stände beider Thermometer die psychrometrische Differenz angeben muſste; allein schon die geringe Oberfläche des verdampfenden Wassers im Verhältniſs zu der Menge desselben und der Gröſse derjenigen Oberfläche der Kugel, welche von der Luft umgeben blieb, die Unbequemlichkeit des Eintröpfelns von Wasser in eine so geringe Vertiefung, das Auf- und Abschieben dieses Thermometers nebst seiner Scale, und die geringe Entfernung, in welcher dennoch beide Kugeln blieben; dieses und einige andere Ursachen erklären die geringe Aufmerksamkeit, welche diesem Vorschlage geschenkt wurde. Kaum etwas mehr beachtet, auf allen Fall nicht allgemein eingeführt, wurde ein ähnlicher durch Blackadder vorgeschlagener Apparat[4]. Dieser besteht aus zwei feinen, auf der nämlichen Scale befestigten Thermometern,

---

1 Unter andern Lüdicke in G. X. 110. vergl. Gilbert ebend. V. 235.

2 G. XV. 355.

3 G. X. 16.

4 Phil. Trans. of the Roy. Soc, of Edinb. T. X. Vergl. Edinb. New Phil. J. N. II. p. 238.



Digitized by Google

deren eins ohne weitere Vorrichtung die Temperatur der Atmosphäre angiebt, das andere aber einen Ueberzug von Musselin über seine Kugel hat, und hier durch stets aus einer Flasche durch einen Haarpinsel herabträufelndes Wasser feucht erhalten wird. Der Erfinder verband damit noch einen künstlichen Mechanismus, um dieses atmizomische Hygrometer (atmizomic hygrometer), wie er es nannte, zum selbstregistrirenden zu machen. Zu diesem Ende wählte er Weingeist zur thermometrischen Substanz, richtete die Thermometer lothrecht auf, so daſs die Kugeln oben standen, brachte in die Weingeistsäule im Thermometerröhrchen ein feines Glasstäbchen, welches sich bis an das Ende des Weingeistes herabsenkte; durch Adhäsion an diesen aber zurückgehalten und bei der Zusammenziehung der Flüssigkeit mit in die Höhe gehoben wurde, und verband damit einen Mechanismus, durch welchen die lothrechten Thermometer zu einer bestimmten Zeit horizontal gelegt wurden. Es muſste dann zugleich dafür gesorgt seyn, daſs sie von diesem Augenblicke an wohl einer höheren, aber nicht einer niedrigern Temperatur ausgesetzt wurden; dann blieben die Glasstäbchen an demjenigen Orte liegen, welchen sie beim Niederlegen eingenommen hatten, und bezeichneten auf diese Weise, das im trocknen Thermometer, die Temperatur der Luft zur Zeit des Niederlegens, das im befeuchteten die durch Verdampfung des Wassers erzeugte Kälte, der Unterschied beider die damals stattgefundene psychrometrische oder atmizomische Differenz.

Diese zuletzt beschriebene Abänderung eines übrigens ziemlich einfachen Apparates macht denselben offenbar zu sehr zusammengesetzt und zu künstlich, und dieses kann nicht vermieden werden, wenn namentlich die Bedingung, nämlich daſs nach dem Niederlegen keine niedrigere Temperatur auf die Thermometer wirken darf, erfüllt werden soll. Es scheint mir sonach, daſs man von dieser Erweiterung ein für allemal abstrahiren müsse, so angenehm es übrigens seyn würde, das Maximum des Feuchtigkeitszustandes während der Nacht, oder gar in verschiedenen Stunden der letzteren zu kennen. Aber auch hiervon abgesehen läſst das Instrument noch einiges zu wünschen übrig, und dieses liegt in der Art, wie die eine Thermometerkugel benetzt wird; denn daſs man statt der unsicheren Weingeistthermometer sehr genaue Quecksilberthermometer mit langen Scalen zur Beobachtung kleiner Temperaturunterschiede an-

wenden könne, dieses liegt so nahe bei der Sache, daſs es keiner besondern Vorschrift bedarf. Es scheint mir nämlich gar nicht erreichbar, aus einer umgestürzten Flasche durch einen Haarpinsel das Wasser so langsam abflieſsen zu lassen, daſs die Thermometerkugel sets naſs erhalten werde, ohne daſs sich Tropfen ansetzen sollten, welche zwar nach v. Bohnenberger[1] von nicht sehr bedeutendem Einflusse sind, aber dennoch der sicheren Feinheit des Instrumentes einigen Abbruch thun, und in dieser Hinsicht gebührt dem durch August construirten Apparate der Vorzug, welcher mit jenem gleichzeitig oder sogar früher erfunden wurde, so weit sich hierüber entscheiden läſst.

August[2] kam zu der Erfindung seines Instrumentes dadurch, daſs er zwei feine, zu einem Daniell'schen Hygrometer bestimmte Thermometer mit Fahrenheit'scher Scale dazu benutzen wollte, um die durch Verdunstung erzeugte Kälte zu messen; er hing sie deswegen, das eine frei, die Kugel des andern mit etwas Musselin umwickelt und mit Wasser benetzt, neben einander, und fand, daſs die Differenz beider gerade die Hälfte derjenigen betrug, welche Daniell's Hygrometer zeigte. Bei der Autorität, welche dieser letztere Apparat nicht mit Unrecht erlangt hat, vereinigte er daher zwei Thermometer, erdachte ein zweckmäſsiges Mittel, die Kugel des einen ohne Erzeugung herabflieſsender Tropfen stets feucht zu erhalten, und nannte den Apparat *Psychrometer*, unter welchem Namen er in vorzüglicher Güte durch Greiner jun. in Berlin für 15 preuſs. Thaler verfertigt wird. Zwei feine Thermo- Fig. 147.
meter A und B nach Réaum. Scale 30° über und 30° unter 0, jeden Grad wieder in 5 Theile getheilt, so daſs Zehntel füglich mit Sicherheit geschätzt werden können, hängen von einer messingenen Fassung herab, welche an einem hölzernen Gestelle befestigt ist. Die beiden Thermometer sind ausgezeichnet fein, die Röhre derselben ist eben so viel erweitert, daſs bei ihrer begrenzten Scale das Quecksilber bei stärkerer Ausdehnung sie nicht zerreiſst, und für den Transport werden sie, jedes in einem eigenen Futterale von Pappe aufbewahrt. Unten am Gestelle ist das gläserne Gefäſs C befestigt mit der aufwärtsgehenden etwas gekrümmten Glasröhre b, in welcher sich ein Badeschwamm befindet, um das Wasser aus dem Gefäſse der mit einer Lage

1 Naturwissenschaftl. Abhandl. Th. II. Hft. 2.

2 G. LXXXI. 69.

Musselin bedeckten Kugel a zuzuführen und diese fortwährend feucht zu erhalten. Die Oeffnung c endlich dient zum Nachgieſsen des allmälig verbrauchten Wassers. Daſs auf diese Weise durch das eine Thermometer die Temperatur der Luft, durch das andere die durch Verdampfung des Wassers verminderte, und aus der Vergleichung beider die psychrometrische Differenz erhalten werde, ergiebt sich aus dem vorher Gesagten von selbst; in wie fern aber das Instrument dazu diene, als Hygrometer den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre zu messen, wird weiter unten in der Theorie erörtert werden.

Der Apparat an und für sich betrachtet läſst nichts zu wünschen übrig. Man hat gegen den von Blackadder angegebenen eingewandt, daſs das Wasser allmälig einen kalkigen Ueberzug in dem Musseline erzeuge, und daſs sich leicht Staub und Schmutz auf demselben ablagere, wodurch er gegen die Aufnahme der Feuchtigkeit minder geeignet werde[1], und dieses lieſse sich auch gegen den eben beschriebenen vorbringen; allein es hat offenbar keine Schwierigkeit, für die erforderliche geringe Quantität stets destillirtes oder Regenwasser anzuwenden, aus welchem sich ein solcher Ueberzug nicht erzeugt, die sich aus der Atmosphäre in längerer Zeit absetzenden Staubtheilchen können leicht weggewaschen werden, und endlich ist es keine bedeutend schwierige Aufgabe, das Musselinstück, falls es unbrauchbar geworden seyn sollte, durch ein neues zu ersetzen. Das Einzige, was noch wohl zu wünschen übrig bleibt, ist ein etwas leichterer Transport; denn obgleich die beiden Thermometer in ihren Futteralen transportabel sind, so erfordert zugleich das Gefäſs ein eigenes Kästchen, und das hölzerne Stativ läſst sich überall nicht bequem packen, weswegen es auch dem Instrumente vom Künstler nicht beigegeben wird. Inzwischen liegt folgender Vorschlag sehr nahe bei der Sache, und scheint mir hauptsächlich in der Hinsicht sehr zweckmäſsig, daſs Reisende, welche hohe Berge besteigen, theils für barometrische Höhenmessungen[2], theils um überhaupt den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre auszumitteln, ein einfaches und leicht transportabeles Hygrometer sehr bedürfen. Man wähle ein einfaches, auf gleiche

---

1 Edinb. New Phil. Journ. N. II. p. 242.

2 Vergl. oben S. 306.

Weise, als die durch Greiner verfertigten, feines Thermometer, biege die Kugel oder den Cylinder desselben in einem rechten Winkel um, hänge es auf gleiche Weise, als dieses bei dem von Jones angegebenen eingerichtet ist, an einem metallenen Träger auf, welcher zugleich in das zum Einpacken des Ganzen bestimmte Kästchen vertical gesteckt werden kann, und mache für die Kugel oder den Cylinder des Thermometers eine bewegliche Kappe von Musselin. Zum Behuf der Beobachtung wird dann diese Kappe weggenommen, das Thermometer sorgfältig abgewischt, an seinem Stative aufgehangen und nach der zur Annahme der äuſseren Temperatur erforderlichen Zeit von etwa 11 bis 15 Minuten mit Vermeidung örtlicher Erwärmungen beobachtet, dann wird die Kappe herübergezogen, welche im trocknen Zustande bekanntlich etwas weiter, im feuchten dagegen enger ist, aus einem im Kästchen zugleich mitgeführten Gläschen mit Wasser so befeuchtet, daſs keine Tropfen herabhängen, oder diese allmälig verdampfen, und da eine einmalige starke Befeuchtung hinreicht, um das Thermometer auf den Thaupunct herabzubringen, so wird dieser nach etwa 15 Minuten gleichfalls abgelesen, und auf diese Weise die psychrometrische Differenz erhalten. Daſs ein solcher einfacher Apparat vollkommen genüge, dieses geht schon aus den allerersten, durch August angestellten Beobachtungen hervor; fürchtet man aber zu sehr den Einfluſs, welchen die Aenderung der äuſseren Temperatur während des Versuches mit der befeuchteten Kugel haben könnte, so kann man auch zwei correspondirende Thermometer wählen, welche mit geätzten Scalen verfertigt sehr wenig Raum einnehmen, und insofern noch wohl vorzuziehen wären, als beim möglichen Zerbrechen des einen die Beobachtungen nicht gänzlich unterbrochen werden.

## C. Theorie.

1. Bei allen aus hygroskopischen Substanzen verfertigten sogenannten Hygrometern, deren Scale nicht zwei bestimmte Normalpuncte enthält, ist gar keine Theorie möglich, und es wäre überflüssig, hierauf Zeit und Mühe zu verwenden. Einige der älteren Hygrometer haben indeſs allerdings zwei feste Puncte, zwischen denen die Scalentheile liegen, namentlich das v. Saussüre'sche, das de Lüc'sche, das von Chiminello, Lowitz,

Lampadius u. a. angegebene; es fragt sich nur, in wie fern diese genau, zuverlässig und als wirklich normal zu betrachten sind. In dieser Hinsicht läſst sich nicht verkennen, daſs die durch v. Saussüre gewählte Methode die einzige ist, welche ganz eigentlich normale Puncte anzugeben vermag. Rücksichtlich des Punctes der gröſsten Trockenheit unterliegt dieses wohl keinem Zweifel und überhaupt ist dieser bei weitem am leichtesten zu erhalten, auch geschieht dieses ohne groſse Schwierigkeiten auf verschiedene Weise, man mag Aetzkali, ungelöschten Kalk, Schwefelsäure oder unter allen am besten salzsauren Kalk anwenden, denn in allen diesen Fällen wird die umgebende Luft völlig trocken, und das Hygrometer zeigt in solcher auf einen Punct, welcher der völligen Trockenheit der Luft zugehört, ohne deswegen nothwendig selbst absolut frei von aller Feuchtigkeit zu seyn. Es ist nämlich ein offenbar unrichtiges Verfahren, wenn einige, wie z. B. Lowitz, durch Glühen oder Lampadius durch die Hitze eines Ofens alle Feuchtigkeit aus der hygroskopischen Substanz entfernen, und hierdurch den Punct der gröſsten Trockenheit erhalten wollten; denn sobald die Affinität des Wasserdampfes zu der hygroskopischen Substanz stärker ist als zur Luft, so wird letztere schon vollkommen trocken seyn, während erstere noch Feuchtigkeit enthält, allein der Punct, auf welchen dann der Zeiger des daraus verfertigten Hygrometers zeigt, gehört offenbar der vollkommenen Trockenheit an.

Schwieriger ist die Bestimmung des Punctes der gröſsten Feuchtigkeit, und hier bleibt offenbar eine Dunkelheit, welche ich in keiner der zahlreichen Untersuchungen über diesen Gegenstand aufgehellet finde. Zuvörderst scheint mir das von de Saussüre gewählte Verfahren, sein Hygrometer in eine möglichst feuchte Luft zu bringen, vor dem durch de Lüc empfohlenen des Eintauchens in Wasser den Vorzug zu verdienen. So sehr nämlich auch letzterer sein Verfahren als das einzig richtige anzuempfehlen sich beeifert hat, so soll doch offenbar das Hygrometer den Zustand der gröſsten Feuchtigkeit dann angeben, wenn die umgebende Luft mit Wasserdampf vollständig gesättigt ist, nicht aber wenn die hygroskopische Substanz sich mit tropfbar flüssigem Wasser in unmittelbarer Berührung befindet. Nach vielfachen angestellten Versuchen scheint indeſs zwischen beiden Methoden kein merklicher Unterschied stattzufinden, wie auch daraus ganz natürlich folgt, daſs die einer absolut feuchten Luft

anhaltend ausgesetzten hygroskopischen Substanzen in der Regel mit einer Lage tropfbar flüssigen Wassers belegt werden; allein eine Frage ist hierbei, wie schon bemerkt worden, noch gar nicht erörtert, nämlich in welchem Verhältnisse die Verwandtschaften der Luft und der hygroskopischen Substanzen gegen Wasser bei ungleichen Temperaturen zu einander stehen. Alle Körper werden durch Wärme trockner, während die Luft allezeit aufs Neue den gebildeten Wasserdampf aufnimmt und fortführt, und wenn gleich hierauf aus andern Gründen nicht mit Gewiſsheit ein Schluſs gebauet werden kann, so ist es doch möglich, daſs die Affinität der Luft zum Wasserdampfe mit der Temperatur wächst, zu den hygroskopischen Substanzen aber abnimmt, und in diesem Falle würde der Punct der gröſsten Feuchtigkeit so viel niedriger zu liegen kommen, in je höherer Temperatur man ihn bestimmte, es sey denn, daſs man das Eintauchen in Wasser hierzu wählte, wodurch der Punct vollkommener Feuchtigkeit gegeben werden muſs, wenn nicht die Einwirkung des heiſsen Wassers auf die hygroskopische Substanz anderweitige Irrthümer herbeiführt. Es belohnt sich nicht der Mühe, aus den bisher angestellten Versuchen oder durch neue auszumitteln, in wie fern hieraus Unrichtigkeiten erwachsen können, weil diese ganze Classe von Hygrometern aus andern Gründen als unbrauchbar erscheint.

Eine Hauptfrage ist nämlich, in wie weit die zwischen den beiden Normalpuncten liegenden Grade bei den verschiedenen Hygrometern mit dem wirklichen Feuchtigkeitszustande der Atmosphäre übereinstimmen. In dieser Beziehung hat ein jeder Erfinder bei seinem vorgeschlagenen Apparate vorausgesetzt, daſs die Grade der atmosphärischen Feuchtigkeit den zwischen beiden Endpuncten der Scale enthaltenen Abtheilungen direct proportional seyen, was aber keineswegs aus theoretischen Gründen nothwendig folgt, und aus der Erfahrung dadurch widerlegt wird, indem sonst alle Hygrometer correspondirend seyn müſsten, statt daſs die beiden vorzüglichsten, nämlich das von de Lüc und von de Saussüre eine so auffallende Verschiedenheit zeigen, wie aus der oben unter A mitgetheilten Tabelle gegen jede Einwendung sichtbar hervorgeht. Sobald sich aber solche bedeutende Abnormitäten zeigen, so entsteht die Frage, welches Hygrometer das richtige sey? und diese ist durch alle weitläuftigen Untersuchungen bisher nicht einmal zum eigentlichen

Digitized by Google

Objecte der Forschung gemacht, geschweige denn genügend beantwortet. Sollte dieses geschehen, so müſste die Luft künstlich in verschiedenen quantitativen Verhältnissen mit Wasserdampfe gemengt, und diese genau bestimmten Mengungsverhältnisse mit denjenigen Graden verglichen werden, welche das zu prüfende Hygrometer in ihnen zeigte; jedoch würde dieses eine Reihe von Versuchen erfordern, welche wegen der damit verbundenen Schwierigkeiten fast an das Unmögliche grenzen, und nur in dem Falle belohnend wären, wenn man dadurch ein für immerwährende Zeiten genaues Hygrometer erhalten könnte.

Aber hier stellt sich erst der Haupteinwurf entgegen, welcher allen Hygrometern dieser Art gemacht werden kann, nämlich daſs die dazu verwendeten Stoffe in kürzerer oder längerer Zeit, auf allen Fall für die auf die Construction derselben zu verwendende Mühe zu bald, ihre hygroskopische Eigenschaft verlieren. Alle hygroskopische Substanzen der ersten und zweiten Classe, nämlich die aus dem Thier- und Pflanzenreiche genommenen, trocknen in nicht gar langer Zeit so vollständig aus, daſs sie gegen die Feuchtigkeit der Atmosphäre fast ganz unempfindlich werden. Hierüber sind alle Physiker so vollkommen einverstanden, daſs es überflüſsig seyn würde, die Behauptung durch Autoritäten zu unterstützen, und ich erwähne daher statt aller nur einen, nämlich den Veteran unter den deutschen Physikern, E. G. Fischer in Berlin, welcher keinen Anstand nimmt, diesen Satz auf das Bestimmteste auszusprechen[1]. Ich selbst habe namentlich ein sehr schönes, aber altes, Saussüre'sches Hygrometer von dem bekannten Paul in Genf gearbeitet, ein von Ramsden höchst elegant verfertigtes de Lüc'sches in dieser Hinsicht geprüft, allein der Zeiger durchlief bei den verschiedensten Zuständen der Feuchtigkeit keine 5 Grade der Scale, und ein später verfertigtes Fischbeinhygrometer von vortrefflicher Arbeit konnte ich durch achtmaliges, alle zwei Stunden wiederholtes Einlaufen in Wasser nicht von seinem gewöhnlichen Stande bei 42° auf 55° bringen. Freilich kann man entgegnen, daſs es bloſs des Einziehens eines frischen Haares oder Fischbeinstreifens bedürfe, um ein solches Instrument wieder brauchbar zu machen; allein wer die Mühe kennt, welche dieses und

1 S. Lehrbuch der Naturlehre. Berl. 1827. Th. I. S. 408.

Digitized by Google

die dann nothwendig erforderliche abermalige Bestimmung der festen Puncte erfordert, wird eine solche Aufgabe nicht für so leicht erachten. Auſserdem aber tritt die Unempfindlichkeit der hygroskopischen Substanzen gegen Feuchtigkeit nicht plötzlich ein, sondern sie entsteht und wächst allmälig langsam zunehmend, woraus aber von selbst folgt, daſs man nie gesichert seyn kann, ob und in welchem Grade dieselbe schon eingetreten sey; ein unzuverlässiges Meſswerkzeug darf aber unter den physikalischen Apparaten eigentlich gar nicht geduldet werden, weil sein Gebrauch Irrthümer herbeiführen kann, deren Widerlegung nachher schwerer ist, als das Auffinden der Wahrheit[1].

Die Hygrometer aus dem Mineralreiche sind in vielfacher Hinsicht mangelhaft, wenn gleich einige derselben gerade wegen ihrer Dauerhaftigkeit einen Vorzug vor den beiden übrigen Classen verdienen mögen. De la Rive's Vorschlag zuvörderst, die Erhitzung der Schwefelsäure durch die atmosphärische Feuchtigkeit als Mittel zum Messen des quantitativen Verhältnisses der letzteren zu gebrauchen, scheitert nach des sinnreichen Verfassers eigenem Geständnisse an der Unmöglichkeit, jederzeit und überall Schwefelsäure von gleicher Concentration zu erhalten. Letztere muſs auſserdem durch das spec. Gewicht gefunden werden, welches von dem hygrometrischen Versuche jederzeit einen andern schwierigen vorauszuschicken erfordert, die Schwierigkeit der Concentrirung selbst nicht gerechnet, und obendrein könnte man die einmal angewandte selbst nicht mehrere Tage aufbewahren, weil das jedesmalige Oeffnen des Gefäſses den Zutritt des atmosphärischen Wassers gestattet, und letzteres zugleich so sehr zwischen die gläsernen Stöpsel und Wandungen der Gefäſse dringt, daſs es auch mit gröſster Mühe selten vollständig abgehalten werden kann.

Bei allen übrigen hygroskopischen Substanzen aus dem Mineralreiche wird die Feuchtigkeit aus der Gewichtsvermehrung bestimmt, und sie erfordern daher einen feinen Waagebalken. Ist dieser lang, damit seine Zunge oder ein Zeiger eine lange

1 Es ist eine sehr interessante Erfahrung, daſs Pictet ein Hygrometer aus dem Haare einer Guanchen-Mumie verfertigen lieſs, und dieses, vielleicht 2000 Jahre alt, eben so empfindlich, als ein frisches fand. S. Bibl. univ. XXVII. 120. Dieser mit einem der Luft nicht ausgesetzten Haare angestellte Versuch kann übrigens die aufgestellte Behauptung nicht umfassen.

Digitized by Google

Scale durchlaufe, so läſst sich der Apparat nicht leicht unter eine Glocke bringen, um die normalen Puncte auf die von de Saussüre angegebene Weise zu erhalten, welche als die einzig zulässige für solche Werkzeuge erkannt ist. Auſserdem sind alle hygroskopischen Substanzen aus dem Mineralreiche etwas träge, hauptsächlich wenn es den Uebergang aus dem Feuchtigkeitszustande in den der Trockenheit betrifft, sie müssen daher dem freien Zutritte der Atmosphäre ausgesetzt seyn, wenn sie die Veränderungen des Feuchtigkeitszustandes richtig und bald angeben sollen, und sind dann schwer gegen die Aufnahme des Staubes und sonstiger Stoffe zu schützen, wodurch ihre hygrometrische Kraft offenbar verschlechtert wird. Die durch Lowitz vorgeschlagenen Steine oder solche, welche diesen künstlich nachgebildet werden, verlieren ohne Zweifel mit der Zeit ihre hygroskopische Eigenschaft, Salze wohl weniger, allein dennoch verlangt Lampadius, daſs die gebrauchten Portionen zuweilen durch andere ersetzt werden sollen. Geschieht dieses aber, so ist schwer zu entscheiden, ob das zum Ersatz genommene Salz genau das Mischungsverhältniſs des ersteren habe, und man ist also nicht gegen Irrthümer gesichert, wenn nicht jedesmal die Bestimmung der beiden Normalpuncte auſs Neue vorgenommen wird. Bei allen endlich ist aber nicht entschieden, ob die zwischen beiden Normalpuncten liegenden Scalentheile den Quantitäten der atmosphärischen Feuchtigkeit direct proportional sind. Aus allen diesen vereinten Gründen folgt auf gewisse Weise nothwendig, daſs auch die Hygrometer dieser Art den jetzigen Forderungen nicht genügen.

Unter diesen Umständen belohnt es sich kaum der Mühe, eine Theorie dieser Hygrometer aufzusuchen, und es mögen daher bloſs die übrigens sehr schätzbaren Bemühungen Lambert's[1] geschichtlich erwähnt werden, wodurch er gefunden zu haben glaubte, daſs bei dem durch Sturm angegebenen Hygrometer, dessen Zeiger einen ganzen in 360 Grade getheilten Kreis durchlief, 2 Grade die Anwesenheit von drei Gran Wasser in einem Cub. Fuſs Luft andeuteten. Hiernach dürfte man also bloſs die Grade, welche der Zeiger des Hygrometers zeigt, mit $\frac{3}{2}$ multipliciren, um die Menge des Wassers in einem Cub. F. Luft in Granen ausgedrückt zu erhalten. Die neueren Untersuchun-

1 Mém. de l'Acad. des Sc. de Prusse. 1769 u. 1772.

gen über die Dämpfe haben jedoch gezeigt, daſs die Dichtigkeit derselben lediglich von der Temperatur abhängt, welches Lambert zwar keineswegs übersehen, aber dennoch nicht in der Art berücksichtigt hatte, um daraus zu folgern, daſs die von ihm gewählte Bezeichnung des Hygrometers hiernach unmöglich ist. Ungleich besser erkannte de Saussüre den Einfluſs der Temperatur auf die Dichtigkeit des Wasserdampfes, versah deswegen sein Hygrometer mit einem Thermometer, um die Angaben des ersteren nach denen des letzteren zu corrigiren; auch geben seine Untersuchungen sehr genaue Resultate rücksichtlich der Dichtigkeiten des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen. Indem es aber bei den Angaben der Hygrometer auf die richtige Bestimmung jener Dichtigkeiten allein ankommt, diese aber bereits ausführlich untersucht sind[1], so genügt es hier darauf zu verweisen. Darf alsdann vorausgesetzt werden, daſs bei einem Hygrometer der angegebenen Art die beiden Normalpuncte genau bestimmt, die zwischenliegenden Grade aber den wachsenden und abnehmenden Graden der Sättigung der Luft mit Wasserdampf direct proportional sind (was hierbei allezeit am meisten problematisch ist) zeigt dann das Hygrometer m Grade von der Menge $= n$, worin die Scale getheilt ist, und heiſst endlich die der Temperatur zur Zeit der Beobachtung zugehörige Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft bei 0° Temperatur und 28 Z. Barometerstand $= d'$, so ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Luft $d = \frac{m}{n} d'$. Die weiteren hierher gehörigen Bestimmungen kommen bei der Theorie des Psychrometers vor, und sind dort ungleich mehr an der geeigneten Stelle[2].

1 S. *Dampf.* Th. II. S. 371 ff. Biot Traité I. p. 582 giebt zwei Tabellen, um nach den Bestimmungen von Gay-Lüssac bei 10° C. die Elasticitäten des Wasserdampfes aus den Graden des Haarhygrometers und umgekehrt zu finden. Nach den angeführten Gründen scheint es mir überflüssig, sie hier ganz oder theilweise aufzunehmen.

2 Gay-Lüssac und Dülong haben sich viele Mühe gegeben, den Gang des Haar- und Fischbein-Hygrometers zu erforschen, und Biot Traité II. 199 hat allgemeine Formeln hiernach entwickelt. So lange aber noch jedes Instrument dieser Art seinen eigenen Gang zu befolgen scheint, halte ich es für überflüssig, tiefer in diese Untersuchungen einzugehen.

Digitized by Google

2. Daniell hat für ſein Hygrometer ſelbſt eine Theorie gegeben[1], und dieſe müſste unter der Vorausſetzung der Richtigkeit für alle ähnliche, nach dem nämlichen Principe conſtruirte Werkzeuge gelten. Hierbei geht er von dem Satze aus, daſs das Hygrometer den Thaupunct angebe, legt dann die durch Dalton gefundenen Beſtimmungen der Elaſticität und Dichtigkeit des Waſſerdampfes zum Grunde, welche er nach einer vorgenommenen Vergleichung mit denen durch Ure erhaltenen bis auf geringfügige Unterſchiede übereinſtimmend findet, und berechnet hiernach die den Temperaturen von 0° bis 95° F. zugehörigen Gewichte eines Cubikfuſses Waſſerdampf und deſſen Expanſion, welche vier Gröſsen er zur Bequemlichkeit des Gebrauches in eine Tabelle neben einander ſtellt. In dieſer letzteren ſind alſo die erſte Columne der Temperaturen nach F. und die zweite der zugehörigen Elaſticitäten des Waſſerdampfes in engl. Zollen von Dalton entlehnt, die Gröſsen der dritten und vierten Columne findet er aber auf folgende Weiſe. Der Waſſerdampf ſoll bei 212° F. und 30 engl. Zolle Luftdruck 1700 mal leichter als Waſſer ſeyn. Wird dann nach den Beſtimmungen von Rive das Gewicht eines Cub. F. Waſſer bei 40° F. = 437272 Grains geſetzt, ſo ist das Gewicht eines Cubikfuſses Dampf $= \frac{437272}{1700} = 257{,}218$ Grains, und hiernach laſſen ſich die Gewichte eines gleichen Volumens Dampf von gleicher Temperatur und unter einem gegebenen Drucke finden, z. B. unter 0,56 Z. Queckſilberhöhe, indem

$$30\text{ Z.} : 0{,}56\text{ Z.} = 257{,}218 : 4{,}801$$

wonach alſo das Gewicht des Dampfes von 212° F. und unter einem Drucke von 0,56 Z. Queckſilberhöhe = 4,801 Grains beträgt. Hieraus wird dann das Gewicht des Waſſerdampfes bei jeder andern Temperatur gefunden, wenn man berückſichtigt, daſs nach Gay-Lussac alle elaſtiſche Flüſſigkeiten ſich durch gleiche Wärmevermehrungen gleichmäſsig ausdehnen, und zwar um $\frac{1}{480}$ſtel ihres Volumens für 1° F. Hiernach iſt alſo das Volumen eines Gaſes, wenn es bei 32° F. = 1 geſetzt wird, für 60° und 212° F. im Verhältniſs von $1 + \frac{28}{480} : 1 + \frac{180}{480}$ oder wie 1,0583 : 1,3749; und da die Dichtigkeiten und Gewichte ſich umgekehrt wie die Volumina verhalten, ſo hat man

1 Meteorological Eſſays and Obſervations. Lond. 1823. p. 153.

1,0583 : 1,3749 = 4,801 : 6,222

Das letzte Glied dieser Gleichung drückt also das Gewicht eines Cubikfuſses Dampf bei 60° F. in Grains aus, das erste die Ausdehnung desselben (expansion) letztere bei 32° F. = 1 gesetzt; die erstere Gröſse für alle Grade F. von 0 bis 95 auf gleiche Weise berechnet, füllt die dritte Columne der Tabelle, die zweite, auf gleiche Weise gefunden, die vierte, welche indeſs für die hygrometrischen Beobachtungen ganz überflüssig ist. Jede Beobachtung der hygrometrischen Differenz am Daniell'schen Hygrometer giebt dann sehr einfach folgende Gröſsen, welche durch ein bestimmtes Beispiel anschaulicher werden:

| | |
|---|---|
| Temperatur der Luft . . . . . . . . . . | 70° F. |
| Thaupunct . . . . . . . . . . . . . . | 55° - |
| Grad der Trockenheit der thermometr. Scale . | 15° - |
| Grad der Feuchtigkeit der hygrom. Scale . | 0,618 - |
| Elasticität des Wasserdampfes . . . . . . | 0,476 n. Z. |
| Gewicht des Dampfes in 1 Cub. F. . . . | 5,175 Gr. |

Hiervon ist die erste Gröſse am Thermometer der Säule gegeben, die zweite an dem der mit Aether gefüllten Kugel, die dritte ist die Differenz beider, und zeigt, wie viele Grade der Condensationspunct des Dampfes unter der Temperatur der Atmosphäre liegt; die vierte wird gefunden, wenn man berücksichtigt, daſs die Sättigungsgrade mit Dampf den Elasticitäten (oder auch den Dichtigkeiten) umgekehrt proportional sind. Indem also die Elasticität des Dampfes für 55° F. = 0,476 Z. für 70° aber 0,770 Z. beträgt, so giebt

0,476 : 0,770 = 0,618 : 1.

und die Luft ist also bei 70° Temperatur nur im Verhältniſs von 0,618 gesättigt. Die beiden letzten Gröſsen endlich werden aus der Tabelle unmittelbar entnommen.

Gegen das Verfahren, wonach Daniell zu den in seiner Tabelle enthaltenen Gröſsen gelangt, ist zwar im Allgemeinen nichts einzuwenden, allein es ist dennoch nicht von der Art, wie der gegenwärtige Standpunct der Wissenschaft fordert. Daſs zuvörderst die Dalton'schen Bestimmungen der Elasticitäten des Wasserdampfes allein angenommen werden, ist aus dem hohen Ansehen leicht erklärlich, wozu sie namentlich in England und Frankreich gelangt sind, obgleich man in Deutschland nicht ungegründete Zweifel dagegen erhoben hat. Wenn man inzwischen bei der Bestimmung der Elasticitäten des Wasserdampfes nicht

Digitized by Google

über die Grenzen zwischen 0° und 95° F. hinausgeht, so sind keine sehr merkliche Unrichtigkeiten zu erwarten, indem innerhalb dieser Temperaturen die verschiedenen Angaben jener Gröſsen ziemlich genau mit einander übereinstimmen. Dagegen sind die Dichtigkeitsverhältnisse zwischen Wasser, Luft und Dampf durch vielfache neuere Untersuchungen mit ungleich gröſserer Schärfe bestimmt, als hier durch Daniell geschieht, und es ist zu verwundern, daſs er diese ganz unberücksichtigt gelassen hat. Inzwischen würde es nicht schwer seyn, eine der seinigen gleiche Tabelle mit Benutzung der neuesten hierfür aufgefundenen Bestimmungen zu berechnen, und sich dieser beim Gebrauche des Hygrometers zu bedienen, lieſsen sich nicht gegen die Anwendung des Apparates überhaupt gegründete Einwendungen machen, welche aus der Vergleichung desselben mit dem Psychrometer am besten klar werden.

3. Die Theorie des Psychrometers ist von drei Gelehrten mit ungleich gröſserer Schärfe der Bestimmungen gegeben, als man dieses bei Daniell findet, die Prüfung derselben führt indeſs zu Untersuchungen höchst verwickelter Aufgaben, welche allerdings von groſsem Nutzen, hier aber nicht an ihrer gehörigen Stelle seyn würden[1], weswegen ich nur die Hauptsachen kurz mittheile, ohne welche eine Beurtheilung des zu würdigenden Apparates nicht möglich seyn würde.

August selbst ging anfangs[2] von dem durch Erfahrung gefundenen Grundsatze aus, daſs die Differenz des befeuchteten und des trockenen Thermometers genau die Hälfte derjenigen betrage, welche die beiden Thermometer des Daniell'schen Hygrometers zeigen, und indem er dann diejenige Temperatur, welche bei letzterem das in der Aetherkugel eingeschlossene Thermometer beim entstehenden Niederschlage zeigt, als den eigentlichen Thaupunct betrachtet, so könnte das Psychrometer auf gleiche Weise, als jenes, zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgrades dienen. Der letztere Hauptsatz, wonach also der Werth des Psychrometers durch seine Uebereinstimmung mit dem Daniell'schen Hygrometer erst ausgemittelt werden müſste, wird wohl ganz allgemein angenommen, und doch verdient gerade dieser erst eine sehr sorgfältige Prüfung.

1 Sie gehören eigentlich als Nachtrag zum Art. *Dampf*, Elasticität desselben, in Th. II. dieses Werkes.

2 G. LXXXI. 69.

Digitized by Google

Wird derselbe vorläufig als richtig vorausgesetzt, so könnte man einfach jenes erstere Instrument auf dieses letztere reduciren, hiernach also den Thaupunct und aus diesem nach Daniell's Methode und den zugehörigen Tabellen die Elasticität und Dichtigkeit des Wasserdampfes finden. August wählt indeſs diesen leichteren Weg nicht, sondern er entwickelt selbst aus bekannten Elementen die Formeln zur Berechnung jener Gröſsen. Wenn man die Luftschicht, welche mit Wasserdampf erfüllt die befeuchtete Kugel umgiebt, aus trockner Luft und aus Wasserdampf bestehend denkt, das Gewicht der ersten unter einem Barometerdrucke = 28 Z. = n und bei 0° C. durch $\omega$ bezeichnet, das Gewicht eines Cub. F. Wassers als Einheit angenommen, bei der Beobachtung den Barometerstand = b, die Temperatur der Cuft = t; die durch Verdunstungskälte erniedrigte = t', die zu beiden gehörige Elasticität des Wasserdampfes aber durch e und e' bezeichnet, und den Ausdehnungs-Coefficienten der Luft durch Wärme = 0,00375 mit m, so ist, das Gewicht dieser Luftschicht = L genannt,

$$L : \omega = b - e' : n\,(1 + mt')$$

$$\text{also } L = \frac{b - e'}{n} \cdot \frac{\omega}{1 + mt'}$$

Der in dieser umgebenden Luftschicht enthaltene Wasserdampf, dessen Elasticität = e' ist, besteht aus dem atmosphärischen und dem neu hinzugekommenen, welcher letztere also die Elasticität = e' — e haben muſs. Heiſst dann das Gewicht des atmosphärischen Wasserdampfes = D, so ist das Verhältniſs dieser Gröſse zu derjenigen, welche die trockne atmosphärische Luft bezeichnet, oder D : $\omega$ aus drei Verhältnissen zusammengesetzt, nämlich $\delta : 1$, wenn hierdurch das Verhältniſs des spec. Gew. des Wasserdampfes gegen das der trocknen Luft bezeichnet wird; ferner e : n und endlich 1 : 1 + mt', wonach

$$D : \omega = \delta e : n(1 + mt') \text{ also}$$

$$D = \frac{e}{n} \cdot \frac{\delta\omega}{1 + mt'}.$$

Heiſst das Gewicht des neu gebildeten Dampfes d, so ist

$$d = \frac{e' - e}{n} \cdot \frac{\delta\omega}{1 + mt'}.$$

Bezeichnet man ferner die specifische Wärmecapacität der Luft, oder diejenige Wärmemenge, welche erfordert wird, eine

Digitized by Google

gegebene Menge Luft um 1° zu erhöhen, diejenige als Einheit angenommen, welche eine gleich groſse Gewichtsmenge (hier also einen Cubikfuſs) Wasser gleichfalls um 1° erhöhen würde, durch $\gamma$, und eben so für Wasserdampf durch $\varkappa$, so ist die durch die Luftmasse = L abgegebene Wärme beim Uebergange aus dem Temperaturzustande = t in den niedrigern = t′

$$L \,.\, \gamma(t-t') = \frac{b-e'}{n} \cdot \frac{\omega}{1+mt'}\,\gamma\,(t-t')$$

und die durch den Wasserdampf abgegebene

$$D \,.\, \varkappa(t-t') = \frac{e}{n} \,.\, \frac{\delta\omega}{1+mt'}\,\varkappa(t-t')$$

Heiſst endlich die latente Wärme des Dampfes, oder die Zahl, welche angiebt, um wie viele Grade des hunderttheil. Thermometers ein der gebildeten Dampfmenge gleiches Gewicht Wasser durch die zur Bildung von jenem erforderliche Wärmemenge erhöhet werden könnte = $\lambda$, so ist

$$d\lambda = \frac{e'-e}{n} \,.\, \frac{\delta \,.\, \lambda \,.\, \omega}{1+mt'}$$

ein Ausdruck für die durch den neu gebildeten Dampf erforderliche Wärmemenge, auf diejenige Einheit bezogen, durch welche ein Cub. Fuſs Wasser um 1° erhöhet werden kann. Insofern aber die durch die Luft und den Wasserdampf derselben abgegebene Wärme der des neugebildeten Wasserdampfes gleich seyn muſs, so erhält man mit Weglassung der einander gleichen Gröſsen

$$(b-e')\,\gamma\,(t-t') + e\delta\varkappa\,(t-t') = (e'-e)\ \delta\lambda.$$

Aus dieser Formel erhält man

$$e = \frac{1+\gamma\delta\,(t-t')}{1+\frac{\varkappa}{\lambda}\,(t-t')}\,e' - \frac{\frac{\gamma}{\delta\lambda}\,(t-t')}{1+\frac{\varkappa}{\lambda}(t-t')}\,b.$$

Um nach dieser Formel die Werthe von e zu finden, nimmt August für $\gamma = 0{,}2669$ nach Biot; für $\varkappa = 2{,}8470$ nach demselben; für $\delta = 0{,}62349$ nach Gay-Lüssac; für $\lambda = 550°$ C. nach demselben, welche substituirt

$$e = \frac{e' - 0{,}00077832\ (b-e')\ (t-t')}{1 + 0{,}00154\ (t-t')}$$

wird; und da $t-t'$ nicht füglich über 20° C. betragen kann, ohne merklichen Fehler

$$e = e' - \frac{0{,}00077832\,(t-t')}{1+0{,}00154\,(t-t')}\,b$$

oder noch einfacher

$$e = e' - 0{,}00077832\,(t-t')\;b.$$

Den Werth von e', oder die Elasticität des Wasserdampfes entlehnt August aus den nach Dalton durch Biot berechneten Gröſsen, und theilt dann 20 Beispiele mit, worin die Werthe von e nach den Differenzen t — t' des Psychrometers und nach der Hälfte dieser Unterschiede bei den Thermometern des Daniell'schen Hygrometers berechnet sind. Beide stimmen sehr gut mit einander überein, und scheinen somit zu beweisen, daſs jene ganzen Differenzen diesen halben jederzeit gleich sind, einige nicht unmerkliche Abweichungen abgerechnet, welche davon abgeleitet werden, daſs der Aetherkugel des Hygrometers stets Wärme von Auſsen zugeführt wird, und daher die Kälte hier geringer als im Innern seyn muſs. Die Tabellen, welche dem Hygrometer beigegeben werden, sind nach der Näherungsformel $e = e' - 0{,}26\,(t-t')$ berechnet, auch sind darin die in einem rheinländischen Cubikfuſs enthaltenen Gewichte des Wasserdampfes angegeben, welche durch die Näherungsformel $x = \frac{1230\,.\,e}{1000+4t}$ gefunden sind.

August ist späterhin nicht dabei stehen geblieben, den Werth von e' aus den mehrfach angefochtenen Dalton'schen Bestimmungen zu entlehnen, sondern hat selbst eine Formel zur Berechnuug der Elasticitäten des Wasserdampfes entwickelt, welche wegen ihrer Eleganz hier einen Platz finden möge[1]. Die Zusammenstellung einiger als vorzüglich genau zu betrachtender, durch Erfahrung gegebener Elasticitäten des Wasserdampfes zeigen, daſs sie eine Reihe bilden, deren Glieder gegen die einer geometrischen stets kleiner werden, und deren Ausdruck also

$$e' = a\,m^{\frac{t}{1+\beta}}$$

seyn kann, wenn a die zur Temperatur = 0, e' die zur Tem-

1 Gilb. Annal. von Poggend. LXXXIX. 117. Sie stimmt im Wesentlichen mit der von J. T. Mayer gegebenen überein, welcher ich im Art. *Dampf* den Vorzug gegeben habe. Es ist also um so wichtiger, auch diese hier mitzutheilen.

peratur $=$ t gehörige Expansivkraft, m aber den Exponenten des Verhältnisses dieser Reihe für jeden einzelnen Grad bezeichnet. Bezeichnet dann b den Barometerstand, bei welchem der Siedepunct des Thermometers bestimmt wurde, n die Anzahl der Grade zwischen den festen Puncten des Thermometers und $-\omega$ den Punct der Abwesenheit aller Wärme, wenn das Thermometer seinen regelmäſsigen Gang bis zu diesem Puncte beibehielte, so ist klar, daſs $e' = 0$ werden müſste, wenn $t = \omega$ wird, woraus

$$a\,m^{\frac{-\omega}{1-\beta\omega}} = 0, \text{ also } 1 : m^{\frac{\omega}{1-\beta\omega}} = 0 \text{ und } m^{\frac{\omega}{1-\beta\omega}} = \infty.$$

Indem aber m der Erfahrung nach stets gröſser als 1 ist, so folgt

$$\frac{\omega}{1-\beta\omega} = \infty, \text{ also } 1-\beta\omega = 0 \text{ oder } \beta = \frac{1}{\omega}$$

welches in die Formel substituirt

$$e' = a\,m^{\frac{t}{1+\frac{t}{\omega}}} = a\,m^{\frac{\omega t}{\omega + t}}.$$

Indem ferner bei vorausgesetzter richtiger Bestimmung des Siedepunctes am Thermometer $e = b$ werden muſs, wenn $t = n$ wird, so erhält man hierfür

$$b = a\,m^{\frac{\omega n}{\omega + n}} \text{ also } m = \left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{\omega + n}{\omega n}}$$

und diesen Werth für m substituirt

$$e' = a\left(\frac{b}{a}\right)^{\frac{(\omega + n)\,t}{n\,(\omega + t)}}$$

Aus Gay-Lussac's mit Dalton's, Ure's und seinen eigenen sehr genau übereinstimmenden Versuchen bestimmt August dann den Werth von $a = 0{,}00578$ Met.; $n = 100$; $b = 0{,}76$ Met., und $-\omega = -266\frac{2}{3} = -\frac{800^{\circ}}{3}$ C. Hiernach wird für französ. Maſs

$$\text{Log. } e' = \frac{23{,}945371\,t}{800 + 3t} - 2{,}2960383.$$

und nach einer, alle erforderliche Correctionen berücksichtigenden Reduction für $b = 336$ Lin. und $n = 80$, also auf Pariser Maſs und Réaum. Thermometer reducirt

1. $$\text{Log. } e' = 0{,}3506511 + \frac{7{,}9817243\,t}{213{,}4878 + t}.$$

Digitized by Google

Wird dieser Werth von e' in die oben mitgetheilte Formel eingeführt, so ist

2. $$e = \frac{e' - 0{,}0009729\ (b - e')\ (t - t')}{1 + 0{,}001925\ (t - t')}$$

durch Umkehrung der Formel 1 aber findet man den Thaupunct $= t''$.

3. $$t'' = 213{,}4878\ \frac{\text{Log. } e - 03506511}{8{,}3323754 - \text{Log. } e}$$

Für metrisches Maſs und 100 theil. Thermometerscale erhält man

$$e = \frac{e' - 0{,}00077832\ (b - e')\ (t - t')}{1 + 0.0015400\ (t - t')}$$

$$t'' = \frac{800}{3} \cdot \frac{2{,}2960383 + \text{log. } e}{5{,}6857520 - \text{log. } e}.$$

Die Reihe der schon mitgetheilten vergleichbaren Versuche wird abermals durch 23 Beobachtungen vermehrt, welche am 31sten Juli 1827 auf dem Brocken angestellt sind, und bei denen die für t'' durch Rechnung erhaltenen Werthe mit den Angaben des Daniell'schen Hygrometers ausnehmend genau übereinstimmen [1].

Ehe ich diese Theorie rücksichtlich ihrer Anwendbarkeit näher prüfe, will ich nur vorläufig über die Formel zur Auffindung der Elasticität des Wasserdampfes Folgendes bemerken, insofern doch auf allen Fall entschieden werden muſs, auf welche Weise und nach welcher der bis jetzt bekannten Formeln die Menge des in der atmosphärischen Luft enthaltenen Wasserdampfes am genauesten durch Rechnung gefunden werden kann. Gegen die Principien, von denen August bei der Aufstellung und Entwickelung seiner Formel ausgegangen ist, kann nicht füglich etwas eingewandt werden, auch kann es derselben keinen Abbruch thun, daſs die Bezeichnung des absoluten Nullpunctes darin aufgenommen ist, worüber noch wohl einige Dunkelheit herrscht, indem dieses bei dem hier davon gemachten Gebrauche nicht in Betrachtung kommt. Allein die Formel ist im Allgemeinen eine logarithmische. Bekanntlich haben aber die diesen zugehörigen Curven eine für gröſsere Abstände stark zunehmende Krümmung, und aus diesem Grunde ist es bedenklich, zur Bestimmung der Constanten bei ihnen nur eine Beob-

---

1 Poggendorff Ann. XC. 140.

Digitized by Google

achtung zum Grunde zu legen, inſofern ein darin enthaltener geringer Fehler zuletzt ſehr ſtark wachſen kann. Bei der von mir[1] gebrauchten Mayer'ſchen Formel habe ich daher zwei möglichſt genaue und ſehr weit von einander abſtehende Beobachtungen benutzt, und alle von mir dort mitgetheilte Formeln an Beiſpielen für niedrige und ſehr hohe Temperaturen geprüft, wobei faſt alle ſich als unzuläſsig zeigten. Bei der durch August gefundenen iſt dieſes keineswegs der Fall, vielmehr hat derſelbe die Elaſticitäten des Dampfes bis 1000° R. berechnet, und man kann nicht ſagen, daſs die erhaltenen Werthe ſich als unmöglich zeigen. Prüft man die Formel indeſs an Verſuchen, welche gewiſs Zutrauen verdienen, und für dieſe Unterſuchungen daher von groſsem Werthe ſind, ſo zeigen ſich Unterſchiede, nach denen man entweder die Genauigkeit der Verſuche oder der Formel in Zweifel ziehen muſs. Vermittelſt eines ſinnreich ausgedachten Apparates im Wiener polytechniſchen Inſtitute wurden für t nach der 80 theil. Scale und e in Pariſer Zollen folgende Werthe erhalten[2]: t = 151; e = 301; t = 178; e = 574. August's Formel giebt hierfür 378 und 795 Z. und wenn wir bei der letzteren Gröſse auch auf die Correction des Thermometers Rückſicht nehmen und ſtatt 795 Z. vielmehr 775 Z. nehmen, welches zu 177° R. gehört, ſo findet dennoch eine Differenz von + 220 Z. auf Seiten des nach der Formel berechneten Werthes ſtatt. Wer inzwiſchen die Vollendung der Apparate kennt, welche jenes polytechniſche Inſtitut liefert, und die Genauigkeit, womit die Gelehrten daſelbſt zu experimentiren pflegen, der wird ihnen einen ſolchen, den dritten Theil des Ganzen überſteigenden Fehler nicht zur Laſt legen wollen, und lieber die Anwendbarkeit der Formel in Zweifel ziehen. Mayer's Formel giebt dagegen 303 und 575 Z. mit den Beobachtungen vollkommen übereinſtimmend. Inzwiſchen zeigen ſich ſo bedeutende Abweichungen bloſs in den ſehr hohen Temperaturen, welche bei hygrometriſchen Beobachtungen nie vorkommen, und August hat genügend nachgewieſen, daſs die nach ſeiner Formel berechneten Elaſticitäten mit denen, welche die beſſeren Beobachtungen bei niederen und mittleren Temperaturen geben, innerhalb jener Grenzen ſehr genau übereinſtim-

1 Im Art. *Dampf.*

2 Jahrb. des Polyt. Inst. I. 144. Gehler II. 335.

men, so daſs man sich also derselben unbedenklich bedienen kann. Insofern sich das Nämliche aber auch von der Mayer'schen Formel sagen läſst, wird es keinen Anstoſs finden, wenn ich diese später als Norm annehme.

Anderson verdient als der zweite genannt zu werden, welcher die Gesetze der Hygrometrie genauer entwickelt, und Formeln angegeben hat, um aus den Beobachtungen an guten Instrumenten die Elasticität und Dichtigkeit des Wasserdampfes in der Atmosphäre zu berechnen[1]. Diese Bemühungen erhalten einen um so gröſseren Werth dadurch, daſs Baumgartner sie bei der Vergleichung einer groſsen Zahl sehr genauer durch v. Bürg angestellten Beobachtungen mit dem Psychrometer, dem Daniell'schen und einen Haarhygrometer zum Grunde gelegt hat[2]. Inzwischen werden von beiden die Gesetze der Spannkräfte und Dichtigkeiten des Wasserdampfes als Functionen der Temperaturen nicht aufs Neue untersucht und bestimmt, sondern erstere entlehnt Anderson von Dalton, letztere dagegen werden nach dem durch Gay-Lüssac aufgestellten Theoreme berechnet, daſs der Wasserdampf bei gleicher Temperatur und Elasticität ein constantes Verhältniſs der Dichtigkeit gegen Luft hat. Diese ganze Untersuchung kann daher hier übergangen werden, da die Grundlage derselben allgemein bekannt und schon im Art. *Dampf* mitgetheilt ist, der groſse Werth der Abhandlung beruhet vielmehr darauf, daſs aus einer so gründlichen Vergleichung der drei vorzüglichsten Apparate eine endliche Entscheidung der Hauptfrage erwartet werden darf, welche Art von Hygrometern mit Sicherheit als Meſswerkzeuge angewandt werden könne. Es muſs hier jedoch bemerkt werden, daſs auch nach Baumgartner's Meinung das Daniell'sche Hygrometer den Thaupunct unmittelbar angiebt, das Psychrometer dagegen eine Berechnung erfordert, indem es nicht genügt, die erhaltene Differenz zu verdoppeln. Zu der Berechnung wählt er Anderson's Formel, wonach

$$e = e' - \frac{b\,\delta}{30\,(A + C\delta)}$$

ist, auf Pariser Maſs und Grade der hunderttheiligen Scale reducirt, wenn 1 Par. Z. = 1,06578 engl. und 1° F. = $\frac{5}{9}$ C. ist, wird

$$e = e' - \frac{b\,\frac{9}{5}\,\delta}{28{,}1484\,(A + C\,\frac{9}{5}\,\delta)} = e' - \frac{b\,\delta}{28{,}1484\,(\frac{5}{9}\,A + C\delta)}$$

1 Edinb. Phil. Journ. N. XXIV. p. 248. und N. XXVI. p. 224.

2 Zeitschrift für Physik u. Math. IV. 50 ff.

Nach Anderson iſt aber $A = 36$ und $C = -0{,}1$, alſo erhält man für $\delta$ den Werth $t - t'$ geſetzt

$$e = e' - \frac{b\,(t - t')}{562{,}968 + 2{,}81484\,(t - t')}.$$

und zur Vergleichung mit August's Formel für Pariſer Fuſsmaſs und 80 theil. Scale

$$e = e' - \frac{b\,(t - t')}{450{,}3744 + 2{,}81484\,(t - t')}.$$

von Bohnenberger hat zwar keine eigentliche hygrometriſche Theorie geliefert, wohl aber die genauere Kenntniſs der verſchiedenen Inſtrumente erweitert, eine richtige Beurtheilung derſelben mehr begründet und die Zahl der werthvollen Beobachtungen um eine nicht unbeträchtliche Menge vermehrt[1]. Auch dieſer Gelehrte geht von dem Grundſatze aus, daſs das Daniell'ſche Hygrometer den Thaupunct unmittelbar angiebt, und daher das Pſychrometer eine Reduction verlangt. Für dieſe letztere legt er gleichfalls die Dalton'ſchen Beſtimmungen der Elaſticität des Waſſerdampfes zum Grunde, und folgt der eben erwähnten Anderſon'ſchen Rechnungsmethode. Heiſst dann ferner die Temperatur der Luft $= T$; die des feuchten Thermometers $= t'$, die des Daniell'ſchen, in die mit Aether gefüllte Kugel, eingeſchloſſenen Thermometers $= t$; bezeichnen $F$, $f'$ und $f$ die dieſen Wärmegraden zugehörigen Elaſticitäten des Waſſerdampfes der Atmoſphäre (wobei vorausgeſetzt wird, daſs die Temperatur, welche das in der Kugel des Daniell'ſchen Hygrometers eingeſchloſſene Thermometer bei der Entſtehung des Dunſtbeſchlages anzeigt, $= t$, die Elaſticität des in der Luft wirklich vorhandenen Waſſerdampfes $= f$ nach Dalton's Beſtimmungen unmittelbar anzeigt), alle dieſe Gröſsen in engl. Zollen und Graden nach F., ſo fand v. Bohnenberfer, daſs die Reihe der durch ihn mit einem Daniell'ſchen Hygrometer und einem Pſychrometer erhaltenen Beobachtungen durch die Formel

$$A. \ldots\ T - t' = \frac{36{,}78\,(F - f)}{0{,}568 + F - f}$$

ſehr gut ausgedrückt wurde. In Uebereinſtimmung mit dem ſchon von August Bemerkten ergab ſich ferner, daſs $f' - f : T - t'$ nahe eine conſtante Gröſse iſt, welche bei 27 Par. Zollen Baro-

1 Naturwiſs. Abh. II. S. 163 ff.

Digitized by Google

meterstand = 0,0114 gefunden wurde, statt daſs sie nach August's Theorie = 0,01244 seyn würde. Es lassen sich dann die Werthe von t leicht finden; wenn man f vermittelst der Formel

$$B. \ldots; \; f = f' - 0{,}0114\,(T - t')$$

berechnet, und im Allgemeinen ergiebt die Vergleichung der auf diese Weise durch Berechnung erhaltenen Werthe von t nach den psychrometrischen Beobachtungen mit den durch das Hygrometer gleichzeitig hierfür gegebenen Gröſsen eine sehr genaue Uebereinstimmung beider Instrumente. v. Bohnenberger sucht indeſs zugleich aus einer Reihe späterer Beobachtungen den Coefficienten von T — t', und findet ihn aus 5 Beobachtungen = 0,01145, weit weniger übereinstimmend, aber aus 7 Beobachtungen am 22sten Mai bei bedecktem Himmel und ruhiger Luft = 0,00789, dagegen am 29sten Mai abermals aus 8 Beobachtungen im Mittel = 0,01207, aus allen 47 eigenen Beobachtungen (mit Ausschluſs der vom 22sten Mai) = 0,011398. Aus den von Bürg gemachten Beobachtungen wählt er gegen 20 der genauesten, und findet aus diesen für 27 Par. Z. Barometerstand denselben = 0,01303 doch etwas bedeutend abweichend. Als interessantes Endresultat ergiebt sich dann, daſs mit Beibehaltung der gewählten Bezeichnung, wonach f' die der Temperatur = t' des feuchten Thermometers zugehörige Elasticität des Wasserdampfes, f die des in der Atmosphäre wirklich enthaltenen Wasserdampfes bezeichnet, T und t' die Thermometergrade, b den Barometerstand, folgende Formeln in Anwendung zu bringen sind

1. Nach der Theorie von August

$$f = f' - \frac{0{,}01244\,(T - t')\,b}{28{,}776}, \text{ für Grade nach F. und engl. Zolle.}$$

$$f = f' - \frac{0{,}315\,(T - t')\,b}{324}, \text{ für Grade R. und Par. Lin.}$$

und wenn die Thermometerkugel mit Eis umgeben ist, muſs der Coefficient von T — t' mit 0,88 multiplicirt werden.

2. Nach Bürg's Beobachtungen

$$f = f' - \frac{0{,}01303\,(T - t')\,b}{28{,}776}, \text{ für Grade nach F. u. engl. Zolle.}$$

$$f = f' - \frac{0{,}33\,(T - t')\,b}{324}, \text{ für Grade R. und Par. Lin.}$$

Digitized by Google

3. Nach v. Bohnenberger's Beobachtungen

$$f = f' - \frac{0{,}0114\ (T - t')\ b}{28{,}776},\ \text{für Grade F. und engl. Zolle}$$

$$f = f' - \frac{0{,}289\ (T - t')\ b}{324},\ \text{für Grade R. u. Par. Lin.}$$

Auf welche Weise vermittelst des Psychrometers, und noch leichter mit Hülfe des Hygrometers, die Dichtigkeit des Wasserdampfes in der Atmosphäre, und hiernach also die Menge des darin enthaltenen Wassers gefunden werden könne, giebt zwar v. Bohnenberger hier nicht an, allein es folgt aus demjenigen unmittelbar, was anderwärts[1] von ihm über den Einfluſs des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre auf das barometrische Höhenmessen gesagt wird. Ist nämlich f, oder die absolute Elasticität des Wasserdampfes auf die angegebene Weise bestimmt, so darf man nur berücksichtigen, daſs nach Gay-Lüssac die Dichtigkeit des Wasserdampfes 0,62349 von der Dichtigkeit der atmosphärischen Luft unter gleichem Drucke ausmacht, oder im Mittel aus den Bestimmungen von de Saussüre, Gay-Lüssac, Anderson's und meinen eigenen = 0,6515 jener Gröſse. Heiſst demnach der Barometerstand B, so ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes = $\delta$ gesetzt

$$\delta = 0{,}62349\ \frac{f}{B}\ \text{oder} = 0{,}6515\ \frac{f}{B},$$

wobei nicht übersehen werden darf, daſs die Dichtigkeit des Wasserdampfes durch höheren oder niedrigeren Barometerstand nicht geändert wird, weil im luftleeren und luftvollen Raume gleiche Mengen desselben existiren; wonach also B constant nach Gay-Lüssac's Bestimmung 0,76 Met. nach der meinigen 28 Par. Z. bezeichnet. Aus dem Werthe von $\delta$ aber die Menge des in einem gegebenen Volumen enthaltenen Wassers zu finden ist leicht, indem man hierfür hinlänglich genaue Werthe erhält, wenn man die Dichtigkeit der Luft gegen die des Wassers = 0,00129 : 1 annimmt. Heiſst dieses $\alpha$, so ist $V \alpha \delta$ das Volumen des in einem Volumen Luft = V enthaltenen Wassers.

Hiermit glaube ich die vorliegende Untersuchung erschöpft zu haben. Es ist nämlich nachgewiesen, auf welche Weise nach dem Urtheile sehr bedeutender Gelehrten und nach einer hinlänglich groſsen Anzahl genauer Versuche die Elasticität und

1 Ebend. S. 183.

Dichtigkeit des zu jeder Zeit in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes vermittelst des Hygrometers directe oder des Psychrometers durch Berechnung gefunden werden kann. Inzwischen glaube ich noch einige Betrachtungen hinzufügen zu müssen, welche ich um so mehr der Beurtheilung anderer anheimstellen muſs, als die dabei zum Grunde liegenden Ansichten mit denen anderer Gelehrten keineswegs völlig übereinstimmen, weswegen aber zu erwarten steht, daſs der Gegenstand nicht für gänzlich abgethan gehalten, sondern nochmals einer ferneren Prüfung unterworfen werde.

Wenn zuvörderst v. Bohnenberger meint, daſs manche von ihm gefundene Abweichungen bei der Bestimmung des Coefficienten von T — t′ in Fehlern der Daltons'chen Angaben für die Elasticitäten des Wasserdampfes liegen mögen, und es daher wünschenswerth sey, daſs dieser Gegenstand nochmals durch neue und genaue Versuche zu gröſserer Gewiſsheit erhoben werde, so liegt hierin allerdings viel Wahres; von der andern Seite aber haben sich schon so viele Gelehrte auf die verschiedenste Weise des Experimentirens an dieser Aufgabe versucht, und sie bietet der Schwierigkeiten so viele und groſse dar, daſs es fraglich bleibt, ob auf diesem Felde noch eine reiche Ausbeute zu erwarten sey [1].

Manche haben in Beziehung auf das Daniell'sche und das August'sche Hygrometer geäuſsert, es sey zu bedauern, daſs man bei diesen allezeit der Rechnung bedürfe, um zur Kenntniſs des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre zu gelangen, wogegen ein solcher Apparat weit zweckmäſsiger seyn würde, welcher, wie Barometer und Thermometer, diese Gröſse beim bloſsen Anblicke durch den Stand seines Zeigers angebe. Dieses ist allerdings richtig, und setzt ein Instrument voraus, welches durch Wärme und Feuchtigkeit in der Art gleichzeitig afficirt werden müſste, daſs man beide Gröſsen gleichzeitig ablesen könnte. Ein solches haben wir aber noch nicht, und am wenigsten kann das de Saussüre'sche und de Lüc'sche oder eins von denen nach ähnlichen Grundsätzen construirtes dafür gelten, wie Baumgartner sehr richtig bemerkt, indem dabei gleichfalls erst gerechnet werden muſs, um aus den Graden des Zeigers

1 S. die ausführliche Zusammenstellung der bisherigen Bemühungen im Art. *Dampf*.

und den Angaben des Thermometers den Feuchtigkeitszustand der Atmosphäre zu finden, und es kommen vielmehr das Daniell'sche Hygrometer und das Psychrometer der Lösung dieser Aufgabe ungleich näher als eins der früheren Hygrometer. Die neuesten Untersuchungen, namentlich die durch v. Bürg mit einem Saussüre'schen, Daniell'schen und Augusts'chen Hygrometer angestellten vergleichbaren Beobachtungen haben ferner dargethan, daſs nur die beiden letzteren einen regelmäſsigen Gang zeigen, und wir dürfen es daher als ausgemacht ansehen, daſs die Hygrometrie sich gegenwärtig auf diese beiden Apparate beschränken müsse, wobei man hinzusetzen darf, daſs vorerst schwerlich eine wichtige Verbesserung oder Vermehrung dieser Instrumente zu erwarten sey.

Rücksichtlich einer Vergleichung des Daniell'schen Hygrometers und des Psychrometers muſs man gestehen, daſs allerdings das erstere gleich bei seiner Bekanntwerdung mit groſsem und ungetheiltem Beifalle aufgenommen wurde, bis sich die Schwierigkeiten zeigten, welche seiner Verfertigung im Wege stehen; und erst durch die sinnreiche Verbesserung Greiner's glücklich gehoben sind. Im Allgemeinen ist das Hygrometer seitdem von vielen und bedeutenden Männern sehr gelobt, selbst auch rücksichtlich der Bequemlichkeit des Verpackens und Transportirens, z. B. von Caldcleugh[1], welcher es auf seiner Brasilianischen Reise mit sich führte, Sabine[2], welcher es ein ganzes Jahr lang bei seinem Aufenthalte in der äquatorischen Zone bewährt fand, mehrerer gelegentlich geäuſserter Lobsprüche nicht zu gedenken.

Andere dagegen sind weniger damit zufrieden gewesen, z. B. Pictet[3], welcher wohl nicht ohne Vorurtheil dem Saussüre'schen Hygrometer den Vorzug beilegte, und dieses auch späterhin[4], als das Daniell'sche schon sehr allgemein bekannt war, für das einzige mit Zuverlässigkeit zu gebrauchende Werkzeug ausgab. Prinsep hat eine ausführliche Prüfung des Haarhygrometers unternommen, und ohne dem Daniell'schen Apparate zu nahe treten zu wollen, entscheidet er doch dahin, daſs ersteres

1 Journal of Royal Inst. XIV. p. 46.
2 Ebend. XV. p. 71.
3 Bibl. univ. XIII. 161.
4 Ebend. XXVII. 24.

mit hinlänglicher Dauerhaftigkeit den Thaupunct richtiger und leichter angiebt, als letzteres[1], und also doch den Vorzug hat; jedoch ist die Frage, ob irgend ein aus sogenannten hygroskopischen Substanzen verfertigtes Hygrometer den Vorzug vor den Verdunstungshygrometern habe, wohl jetzt unzweifelhaft als zum Vortheile der letzteren entschieden zu betrachten. Macvicar und Foggo halten indeſs das nach Jones's Angabe construirte Hygrometer für besser, als das Daniell'sche, weil letzteres zu viel Aether erfordert, und das in der Kugel eingeschlossene Thermometer bei der Entstehung des Thaues so schnell sinkt, daſs eine genaue Beobachtung kaum möglich ist[2]. Auch Henry Meikle klagt, daſs kaum ein Beobachter zugleich die Thermometerscale beobachten und den auf der Kugel erscheinenden feinen Niederschlag wahrnehmen könne, welcher kaum auf einer groſsen Metallfläche im ersten Momente gesehen werde, geschweige denn auf einem so winzigen Apparate und bei dem flüchtig herabsinkenden Thermometer. Ungleich sicherer scheint ihm daher die Beobachtung einer feinen, mit Wasser benetzten Thermometerkugel, und er hat zugleich eine Formel entwickelt, wonach die Thaupuncte aus den Graden der durch Verdunstung erkalteten Kugel berechnet werden können[3], welche ich indeſs nicht mitgetheilt habe, da sie auf den Barometerstand nicht Rücksicht nimmt, übrigens sehr nahe dieselben Resultate giebt, als die durch Anderson aufgestellte. Man könnte es allerdings bei August aus einer leicht möglichen Vorliebe für sein Instrument erklären, wenn er diesem den Vorzug vor dem Daniell'schen einräumt, allein auch Baumgartner und Bohnenberger sind derselben Meinung. Letzterer bestreitet es jedoch mit Recht, wenn August behauptet, das Daniell'sche Hygrometer gebe zuweilen den Thaupunct gar nicht an, oder es zeige sich an demselben überall kein Niederschlag; denn die durch guten Aether erzeugte Kälte ist so stark, daſs allerdings wohl jederzeit ein Niederschlag entstehen muſs, allein das Sinken des Thermometers in der erkälteten Kugel geschieht so schnell, daſs man den eigentlichen Punct der Thaubildung selbst auf der polirtesten Goldfläche genau wahrzunehmen kaum oder überall nicht im

---

1 Journ. of Science and the Arts XLIII. 23.

2 Edinb. Journ. of Science. N. XIII. 36.

3 Edinb. New Phil. Journ. N. III. p. 22.

Stande ist. Auſserdem hat v. Bohnenberger noch durch vergleichende Versuche sattsam erwiesen, daſs das im Fuſsgestelle des Daniell'schen Hygrometers befindliche Thermometer in Folge des Einflusses seiner Umgebungen sehr unempfindlich ist, und oft gegen 3° F. von der eigentlichen Lufttemperatur im Freien abweicht. Diesem wäre indeſs leicht durch eine Vorrichtung abzuhelfen, vermöge welcher man auch dieses Thermometer frei und dem Einflusse der Säule und des Fuſsgestelles nicht ausgesetzt beobachten könnte.

Einige vergleichende Beobachtungen, welche ich mit dem Daniell'schen Hygrometer und dem August'schen Psychrometer angestellt habe, beide von Greiner vortrefflich verfertigt, berechtigen mich wohl, den hier angegebenen Urtheilen auch das meinige hinzuzufügen, und ich muſs gestehen, daſs ich ganz unbedenklich dem letztern den Vorzug einräume, und zwar aus allen den nämlichen Gründen, welche v. Bohnenberger angegeben hat. Namentlich sinkt meistens das in der Kugel eingeschlossene Thermometer so schnell, daſs eine genaue Beobachtung seines Standes im Momente des erzeugten Niederschlages kaum überall möglich ist. Weniger die Unsicherheit des Thermometers in der Tragsäule, welcher abgeholfen werden kann, als vielmehr die nicht geringe Menge der theuern Naphtha, wenn man anhaltend beobachten will, kommen gleichfalls in Betrachtung.

Der wichtigste, hierbei noch zur Untersuchung kommende Gegenstand ist indeſs folgender: Man nimmt so ganz allgemein an, diejenige Temperatur, welche das Hygrometer im ersten Augenblicke des erzeugten Niederschlages zeige, sey der eigentliche Thaupunct, daſs ich Bedenken tragen würde, dieses in Zweifel zu ziehen, wenn mich nicht triftige Gründe hierzu vermöchten, deren Gewicht ich um so viel mehr fühle, da ich mich ein ganzes Jahr mit der Beobachtung des Entstehens solcher Niederschläge beschäftigt habe. Als ich nämlich im Jahre 1814 die Dichtigkeit der Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten aufzufinden mich bemühete, hatte ich gewogene Quantitäten Wasser in einem Ballon von dem klarsten englischen Glase eingeschlossen, und suchte durch den Wechsel der Temperatur denjenigen Punct zu finden, bei welchem zwar noch kein Niederschlag an den inneren Wandungen des Ballons gebildet wurde, unter welcher aber derselbe sogleich entstand. Obgleich es nun

Digitized by Google

ungleich leichter ist, die geringste Trübung so ausnehmend klaren englischen Glases bei durchfallendem Lichte wahrzunehmen, als eine Verbindung des metallisch glänzenden Goldes, so weiſs ich doch sehr wohl, daſs ich nie zu genauen Resultaten gelangt seyn würde, wenn mir nicht das zweite Mittel zu Gebote gestanden hätte, nämlich den feuchten Niederschlag durch Temperaturerhöhung wieder verschwinden zu machen, und durch lange anhaltende Anwendung beider Methoden gelang es mir dann endlich, die gesuchten Werthe genau zu erhalten. Wie viele Mühe und Zeit indeſs jeder einzelne Versuch mit Wasserdampf (denn bei dichteren Dämpfen ist die Bestimmung leicht) erforderte, ist gehörigen Ortes[1] erzählt, und würden ohne dieses jene Versuche mich nicht so anhaltend beschäftigt haben, als wirklich der Fall war. Die von mir für die Dichtigkeit des Wasserdampfes gefundene Bestimmung ist gröſser als die durch Gay-Lüssac vermittelst seiner Verdampfungsversuche des Wassers im Torricelli'schen Raume über Quecksilber erhaltene, und dieses erklärt sich leicht daraus, daſs das Quecksilber, welches ja bekanntlich nur mit groſser Mühe kaum von aller Feuchtigkeit gereinigt werden kann, einen Theil des Wassers aufnahm, auch konnte Gay-Lüssac aus seinen wenigen Versuchen nicht finden, daſs das Dichtigkeitsverhältniſs des Massedampfes gegen Luft bei gleicher Wärme und Elasticität nicht für alle Temperaturen ein gleiches ist; wie aus meinen vielen und weit von einander liegenden Versuchen folgt. Aus diesen Versuchen sowohl als auch aus jenen scheint mir der Satz als unbestreitbar gewiſs zu folgen, daſs der Thaupunct da nicht liegen kann, wo sich ein wäſsriger Niederschlag zeigt, sondern daſs er über die hierbei beobachtete Temperatur fällt.

Betrachte ich indeſs die Sache ganz für sich und ohne Beziehung auf jene Beobachtungen, so scheint mir der Satz, daſs Daniell's Hygrometer den Thaupunct nicht unmittelbar angiebt, vollständig begründet, wenn man anders unter Thaupunct diejenige Temperatur versteht, bei welcher der Wasserdampf der Atmosphäre seine gröſste Dichtigkeit hat. Daſs letztere Bedeutung aber die richtige sey, dieses läſst sich nicht bezweifeln, indem man sie bei der Bestimmung der Elasticität und Dichtigkeit des atmosphärischen Wasserdampfes zum Grunde legt,

1 S. meine Physicalischen Abhandl. Giess. 1816.

Sollte dagegen Thaupunct diejenige Temperatur bedeuten, bei welcher schon wirklicher Thau gebildet ist, so läſst sich dieser unmöglich genau bestimmen, weil der Thau dichter und auch dünner seyn kann, und auf allen Fall kein Dampf mehr ist, sondern Dunst, d. h. ein wirklicher wäſsriger Niederschlag aus der Atmosphäre. So lange hiernach also die mit Aether gefüllte Kugel diejenige Temperatur hat, bei welcher der Wasserdampf noch seine Expansion behält, kann sich kein Dampf auf derselben ablagern, wenn sie gleich unter die Temperatur ihrer Umgebung herabsinkend den angrenzenden Luft- und Dampf-Theilchen Wärme entzieht, weil ja die letzteren erst so viel hiervon verlieren müssen, daſs ihr Expansionszustand nicht weiter möglich bleibt. Der hygrometrische Condensationspunct nach der Angabe des Daniell'schen Hygrometers liegt also unter dem eigentlichen Thaupuncte, oder unter dem Puncte der gröſsten Dichtigkeit des Wasserdampfes. Aus dieſem Grunde wollten v. Bohnenberger, v. Bürg u. a. den eigentlichen Thaupunct aus derjenigen Temperatur zugleich mit bestimmen, bei welcher der auf dem Goldstreifen entstandene Thau wieder verschwindet, und es unterliegt wohl keinem Zweifel, daſs man die dem eigentlichen Thaupuncte zugehörige Temperatur genau erhalten würde, wenn man diese beiden Puncte einander so nahe wie möglich brächte, oder zuletzt in einen zusammenfallen machte; allein dieses ist nicht bloſs schwierig, sondern fast unmöglich und auf allen Fall für gewöhnliche Beobachtungen nicht anwendbar. Wird nämlich die mit Musselin überzogene Kugel des Hygrometers erkältet, so verdampft der Aether in der andern an seiner ganzen Oberfläche, entzieht also gleichzeitig der Thermometerkugel und der vergoldeten Glaszone die Wärme, weswegen beider Temperaturen bis auf einen verschwindenden Unterschied gleich seyn werden; wird aber die Aetherkugel von Auſsen erwärmt, so muſs die aufgenommene Wärme erst durch den Aether und dessen Dampf dringen, ehe sie die Thermometerkugel erreicht, worauf bei der schlechten Wärmeleitung der Flüssigkeiten viel zu lange Zeit vergeht, als daſs sich dieses Mittel zu der geforderten Bestimmung eignen sollte.

Fragt man, wie tief der Bethauungspunct der Hygrometerkugel unter dem eigentlichen Thaupuncte liege, so ist dieses schwer bestimmbar, weil man hierfür die Dicke einer sichtbar werdenden Dunstschicht kennen müſste und zugleich die

Dichtigkeit des Dampfes bei der jedesmaligen Temperatur nebst der Entfernung, bis auf welche die kältere Kugel den Wasserdampf aus ihrer Umgebung anzieht. Bei dieser Unbestimmbarkeit der Elemente, wäre es ganz überflüssig, eine Berechnung hierüber anzustellen[1], allein so viel ergiebt sich von selbst, daſs in niedigeren Temperaturen beide weiter von einander abstehen müssen, weil dann der umgebende Dampf dünner ist. Aus dieser Ursache fand auch v. Bohnenberger, daſs die Differenz der beiden Thermometer des Hygrometer's, welche nach August's Beobachtungen die doppelte der Differenz der beiden Thermometer des Psychrometers ist, in niedrigen Temperaturen bis zur 2,5 ja bis zur 3fachen stieg, wie denn das Nämliche aus der Formel folgt, wonach für 0° R. Temperatur der umgebenden Luft die Differenz der Thermometer, des Psychrometers aber = 7,29 beträgt[2].

Hiernach entsteht aber billig die Frage, welches denn der eigentliche Thaupunct sey? Wenn man unter Thaupunct denjenigen Punct der thermometrischen Scale, oder diejenige Temperatur versteht, bei welcher der in der Atmosphäre enthaltene Wasserdampf das Maximum seiner Dichtigkeit hat, so daſs er sich zu tropfbaren Massen condensiren (in Thau oder Nebel

---

1 Es setzt sich auf den vergoldeten Ring des Hygrometers keine zusammenhängende Wasserlage ab, denn diese wäre durchsichtig und hätte also kein mattes Ansehen, sondern eine Lage sogenannter Dunstkügelchen. Solche Dunstkügelchen, oder einzelne Tropfen, sind bei hinlänglicher Beleuchtung mit bloſsen Augen auf eine Weite, die ich zu 10 Par. Z. annehmen will, sichtbar. Ein Object verschwindet nach Gehler Th. IV. S. 1438, wenn der Gesichtswinkel kleiner als 1 Sec. wird. Dieses gäbe ihre Dicke = 10 Z. arc. 1″ = 0,00004848 Z. Nehmen wir bei einer mittleren Temperatur = 12° R. die Elasticität des Wasserdampfes = 0,41 Z.; das Dichtigkeitsverhältniſs der Luft zum Wasser = 0,00129, des Dampfes zur Luft = 0,625, so wäre $\frac{0,41}{28} \cdot 0,00129 \cdot 0,625 = 0,00001074$ die Dichtigkeit des Wasserdampfes gegen Wasser, und aus $\frac{0,00004848}{0,00001074} = 4,5$ Z. müſste der enthaltene Wasserdampf sich auf der Kugel ablagern. Dieses ist sehr wohl denkbar, wenn man berücksichtigt, wie viel Wärme der verdampfende Aether bedarf; doch sind die Elemente dieser Berechnung zu unsicher. Man ersieht hieraus übrigens klar, daſs der hygrometrische Thaupunct mehrere Grade unter den psychrometrischen fallen muſs.

2 S. Bohnenberger a. a. O. S. 180.



Digitized by Google

verwandelt werden) würde, sobald er dann von seiner Wärme noch etwas verlöre, so getraue ich mir ohne Anstand zu behaupten, *daſs das befeuchtete Thermometer des Psychrometers diesen Punct unmittelbar angiebt.* Diesen höchst wichtigen Satz der Hygrometrie werde ich theoretisch und aus der Erfahrung zu beweisen suchen, nachdem ich mir zuvörderst noch folgende Bemerkung erlaubt habe. Es muſs allerdings auffallen, daſs alle die rühmlichst bekannten scharfsinnigen Gelehrten, welche bisher diesen Gegenstand behandelt haben, einstimmig der Meinung sind, der Thaupunct liege tiefer, als jener Verdampfungspunct, und man könnte sogar noch hinzusetzen, daſs die so genau übereinstimmenden Berechnungen diese herrschende Ansicht geometrisch beweisen. Inzwischen erwiedere ich hierauf, daſs man nach den bekannten Versuchen der Academia del Cimento, le Roy's, Fontana's, Dalton's u. a. stets von dem Satze ausging, das Thermometer, an welchem ein Niederschlag zum Vorschein komme, gebe in diesem Augenblicke den Thaupunct an, und da das psychrometrische Thermometer höher stand, so entwarf man Formeln, um beide in Uebereinstimmung zu bringen, ohne die Frage aufzuwerfen, welcher von beiden Puncten der eigentliche Thaupunct sey. Am meisten kommt wohl hierbei die durch August entwickelte Formel in Betrachtung, gegen deren Elemente ich Folgendes zu erinnern habe. Wenn es heiſst: zur Bildung des Dampfes aus dem Wasser der befeuchteten Kugel giebt die umgebende Luft und der in ihr enthaltene Dampf Wärme her, und wenn dann ferner die Reductionsformel für die Beobachtungen des Psychrometers auf die specifischen Wärmecapacitäten beider gegründet wird, so würde ich vielmehr so fortfahren zu argumentiren. Dieser vom Dampfe der Luft hergegebene Wärmestoff bewirkt eine Verdichtung des Dampfes, kann aber nicht so weit entzogen werden, daſs tropfbares Wasser (Dunst)[1] entstände, weil sonst die Wassermenge

1 August nimmt den durch Fischer eingeführten Sprachgebrauch, wonach das durchsichtige Fluidum Dunst, das undurchsichtige Dampf genannt werden soll, gegen den in diesem Wörterbuche beibehaltenen in Schutz, weil niemand Ausdünstung mit Ausdampfung vertauschen würde. Es ist indeſs mit dem Sprachgebrauche eine eigene Sache. So müſste es z. B. ganz entschieden heiſsen: specifisch gewichtiger, statt daſs man allgemein sagt: specif. schwerer. In nächster Beziehung auf den Gegenstand sagt zwar niemand Ausdampfung,

Digitized by Google

der befeuchteten Kugel vermehrt und nicht vermindert werden würde. Insofern also der schon vorhandene Dampf von seiner Wärme verliert, und dadurch verdichtet, zugleich aber durch den neu gebildeten vermehrt wird, so muſs dieser Prozeſs so lange fortdauern, bis das Maximum der Sättigung der Luft mit Dampf eintritt, die Luft also keinen neuen mehr aufnehmen und zu dessen Bildung keine Wärmebindung mehr stattfinden kann, welches dann den Thaupunct giebt. Den ganzen Prozeſs denke ich mir auf folgende Weise. Ist eine überall mit einer dünnen Wasserschicht umgebene Thermometerkugel der freien Luft so ausgesetzt, daſs sie der letzteren eine möglichst groſse Fläche zur Berührung darbietet, so wird dieser Wärme entzogen und zur Dampfbildung verwandt, zugleich aber dem Quecksilber im Thermometer, welches sich dadurch zusammenzieht. Bei der groſsen Wärmecapacität des Dampfes, und der Begierde der Luft, diesen in sich aufzunehmen, wird also die Dampfbildung unausgesetzt fortdauern, so lange noch freie Wärme hierfür vorhanden ist, also bis zu dem Augenblicke, in welchem die Luft keinen Wasserdampf mehr aufnehmen kann, bei stärkerer Temperaturverminderung vielmehr ein Niederschlag entstehen müſste, was indeſs unmöglich ist. Hiernach giebt aber das befeuchtete Thermometer den eigentlichen Thaupunct, oder wenn man genauer will, den Punct der gröſsten Dichtigkeit des Wasserdampfes der Atmosphäre unmittelbar.

Zwei Einwendungen lassen sich gegen diese Theorie vorbringen, welche aber beide zu ganz entgegengesetzten Resultaten führen. Zuerst könnte man sagen, die Wärme der Luft und des Dampfes in ihr wird allerdings zur Dampfbildung der das Thermometer umgebenden Feuchtigkeit verwandt, und letzterem gleichfalls Wärme zu gleicher Verwendung entzogen; allein weil Wärme genug von Auſsen vorhanden ist, die Luft auſserdem nicht sofort in den Zustand des Gesättigtseyns mit Wasserdampf kommt, so bleibt die Temperatur des psychrometrischen Thermometers stets etwas hinter dem Thaupuncte zurück. Dieses ist die herschende Ansicht, worauf ich aber Folgendes erwiedere. Entweder diejenige Luftschicht, welche die befeuchtete Kugel umgiebt, ist bleibend (bei ganz ruhiger Luft) oder

---

aber auch niemand sagt Dunstmaschine, Dunstschiff, Dunstkanone u. s. w.

veränderlich (bei bewegter Luft). In beiden Fällen ist nicht abzusehen, warum der vorräthige Wärmestoff nicht zur Dampfbildung verwandt werden sollte. Daſs hierauf einige Zeit hingeht, liegt in der Natur der Sache, aber eben deswegen sinkt auch das befeuchtete Thermometer allmälig, bis es zuletzt stationär wird, und dieses kann nur dann geschehen, wenn kein freier Wärmestoff zur Dampfbildung mehr vorhanden ist, als wenn die umgebende Luft und die in demselben befindliche feuchte Thermometerkugel die dem Sättigungspuncte zugehörige Temperatur angenommen hat. Ein zweiter Einwurf könnte daraus hergenommen werden, wenn man sagte, bei bewegter Luft komme allezeit eine Menge derselben im nicht mit Wasserdampf gesättigten Zustande mit der befeuchteten Kugel in Berührung, und müsse daher bei der groſsen Wärmecapacität des Dampfes dieselbe sehr erkälten, selbst durch stetes Wegführen des bereits gebildeten Dampfes bis unter die Temperatur des Sättigungspunctes derselben mit Wasserdampf. Letzteres scheint mir indeſs unmöglich, weil die auch noch so schnell herbeigeführte Luft allezeit Wasserdampf enthält, welcher an allen bis unter das Maximum seiner Dichtigkeit erkälteten Körpern reducirt wird, und Wärme statt Kälte erzeugt. Insofern aber aus den bisherigen Beobachtungen nicht hervorgeht, daſs die psychrometrische Differenz eine wesentliche Aenderung erhält, wenn die Luft mehr oder weniger bewegt ist, einige Bewegung derselben als nothwendige Bedingung vorausgesetzt, so scheint mir hierin ein auffallender Beweis zu liegen, daſs in jedem Falle die benetzte Kugel die Temperatur des Sättigungspunctes der Atmosphäre mit Wasserdampf annimmt, bei welchem dieses Thermometer also stationär werden muſs.

Um diesen wichtigen Satz durch die Erfahrung zu prüfen könnte man vermittelst der befeuchteten Kugel den Thaupunct suchen, dann von der Luft, worin dieses geschehen ist, eine Quantität einschlieſsen, und durch Entziehung des enthaltenen Wasserdampfes die Menge des letzteren durch die verminderte Elasticität, oder durch die Gewichtszunahme des entziehenden Körpers ausmitteln. Ob Versuche dieser Art möglich sind, wage ich nicht zu entscheiden, auf allen Fall sind sie höchst schwierig. Man könnte ferner von derjenigen Luft, deren Thaupunct durch das Psychrometer erforscht ist, eine Quantität in einen trocknen leeren Ballon einschlieſsen, und durch Abkühlung des

ſelben den wahren Thaupunct aufſuchen, aber auch dieſes iſt unglaublich ſchwer und unſicher. Um wenigſtens eine Kleinigkeit in dieſer Sache zu thun, hing ich zwei Thermometer, welche zwar von einem guten Künſtler ſind, deren correſpondirender Gang und feſte Puncte ich indeſs nicht vorher geprüft hatte, unter eine Campane auf, welche nebſt einem Schälchen mit etwas Waſſer luftdicht auf einem geſchliffenen gläſernen Teller ſtand. Es verſteht ſich von ſelbſt, daſs in dieſer mit Waſſerdampf geſättigten Luft beide Thermometer übereinſtimmen muſsten, allein ich fand es merkwürdig, daſs das befeuchtete (mit einer naſſen Muſſelinhülle umgebene) Thermometer im Stillſtehen meiſtens 0°,5 R. niedriger ſtand. Wurde die äuſsere Temperatur vermindert, ſo legte ſich ein dicker Thau an die Wandungen der Campane und auf den Thermometern an, und beide Thermometer gingen gleichmäſsig herab. Nachdem ich darauf die Campane nebſt dem einen Thermometer getrocknet und beide bis 1° R. herabgebracht hatte, trug ich den Apparat in ein geheiztes Zimmer von 14° R. Das trockene Thermometer ſtieg ſehr ſchnell, das feuchte regelmäſsig und hinter jenem zurückbleibend, denn erſteres zeigte 5° letzteres 2° u. s. w., ſo daſs ich hiernach ſchlieſsen muſs, daſs das feuchte Thermometer ſich nie vom Thaupuncte entfernte. Um dieſen Verſuch noch genauer anzuſtellen, und insbeſondere wegen des niedrigern Standes des feuchten Thermometers Gewiſsheit zu erlangen, hing ich die zum Pſychrometer gehörigen Thermometer unter einer mit Pomade auf einen Luftpumpenteller geſetzten Campane auf, lieſs beide bis 0° R. herabgehen, und trug den Apparat dann in ein geheiztes Zimmer. Bis zur Temperatur von 5° R. blieb das befeuchtete Thermometer ſtets um 0°,5 R. hinter dem trocknen zurück, von da an bis 11° aber nur um 0°,4, und dann nahm die Differenz noch mehr ab, bis beide bei 14°,5 R. zuſammentrafen. Als ich darauf die Wärme des Zimmers allmälig verminderte, ſanken beide Thermometer, behielten aber hierbei fortwährend die einmal erhaltne völlige Uebereinſtimmung bei. Es ſteht mir kein Apparat zu Gebote, um die mit dem Thermometer verſehene Kugel des Daniell'ſchen Hygrometers unter eine Campane zu bringen, deren Luft mit Waſſerdampf geſättigt iſt, dieſe dann zu erkälten und zu beobachten, um wie viele Grade ihre Temperatur herabſinkt, ehe ſie mit dem erforderlichen Niederſchlage überzogen wird; ſo viel iſt

aber gewiſs, daſs dieses in völlig mit Wasserdampf gesättigte Luft ohne Verminderung der Temperatur nicht geschehen kann, und daſs daher dieses Hygrometer in solcher den Thaupunct nicht unmittelbar zeigt, wie dieses durch das Psychrometer allezeit und sicher geschieht.

Es leidet keinen Zweiſel, daſs in manchen Fällen der am Daniell'schen Hygrometer beobachtete Thaupunct unter dem eigentlichen gefunden wird, welches man indeſs für eine Folge mangelhaſter Beobachtung auszugeben geneigt seyn könnte. Inzwischen ist mir zufällig ein Fall bekannt geworden, wobei es in der That wunderbar scheinen muſs, daſs dem Erzähler selbst das Auffallende hiervon entgangen ist. Cumming nämlich, welcher sich viel mit dem Daniell'schen Hygrometer beschäftigt hat, berichtet unter mehreren Fällen, daſs er am 19ten Juli den Thaupunct bei 61° F. die Lufttemperatur 65° gefunden habe, und es sey unmittelbar darauf ein Regen geſolgt. Dieses lieſse sich noch wohl erklären, allein am 26sten fand er bei vielem Regen den Thaupunct bei 58° F. die Temperatur der Luft 62° F. da doch *bei vielem Regen* beide nothwendig zusammenfallen muſsten [1].

Gegen die Ansicht, wonach das befeuchtete Thermometer den Thaupunct unmittelbar angeben soll, läſst sich allerdings einwenden, daſs in völlig ruhiger Luft die dasselbe umgebende, mit Wasserdampf gesättigte Luftschicht durch die umgebende Luft von höherer Temperatur allmälig erwärmt werden, und sonach das Thermometer den Thaupunct höher angeben müsse, als der freien Atmosphäre zukomme. Dieser schon an sich sehr wahrscheinliche Einwurf wird durch folgende Erfahrung bestätigt. Um die Angabe des Psychrometers näher zu prüfen, stellte ich dasselbe in einem erwärmten Zimmer in solche Entfernungen vom geheizten Ofen, daſs ich den Feuchtigkeitszustand an den verschieden Plätzen für gleich halten konnte. Bei völliger Ruhe der Luft stieg das befeuchtete Thermometer um 0,2 bis 0,4 Grad R. wenn das trockne 2° R. hinaufging; wenn ich aber die Luft durch ein geschwungenes Buch in mäſsige Bewegung setzte, behielt jenes seinen Stand bei, obgleich bei diesem die Differenz

1 The Quaterly Journ. of Science Lit. and Arts. New Ser. I. VI. 403. Wörtlich heiſst es: To day the dew-point is 58°, attended with much rain, the temperature of the air being 62°.

von 2 Graden blieb. Bewegung der Luft ist also für genaue psychrometrische Beobachtungen auf allen Fall erforderlich.

So sehr ich nun einerseits die Ueberzeugung hege, daſs der Thaupunct in der oben angegebenen Bedeutung durch das Psychrometer unmittelbar angegeben werde, so mag doch die unwidersprechliche Begründung dieser Frage einstweilen noch auf sich beruhen, indem er auf allen Fall durch dasselbe erhalten werden kann. Insofern es auſserdem ausgemacht ist, daſs die Elasticität und Dichtigkeit der Dämpfe im Zustande der Sättigung (im Thaupuncte) lediglich eine Function der Temperatur ist, weil im luftvollen und luftleeren Raume gleiche Mengen des Wasserdampfes existiren, so bedarf es keiner weitläuftigen Rechnungen, um aus dem aufgefundenen Thaupuncte die zugehörigen Gröſsen unmittelbar zu finden. Es sind nämlich unter dem Art. *Dampf* die Elasticitäten sowohl als die Dichtigkeiten des Wasserdampfes für einzelne Grade nach R. berechnet[1], letztere gegen Luft bei 0° Temp. und 28 Z. Barometerdruck und gegen Wasser im Puncte seiner gröſsten Dichtigkeit. Ist also der Thaupunct vermittelst des Psychrometers gefunden, so darf man nur aus jenen Tabellen alle drei Gröſsen entnehmen, und es scheint mir überflüssig, hier abermals einen Auszug aus denselben aufzunehmen. Die Gründe aber, welche mich bestimmen die dort berechneten Elasticitäten und Dichtigkeiten noch immer für die richtigsten zu halten, welche bisher aufgefunden wurden, sind theils dort, theils hier angegeben.

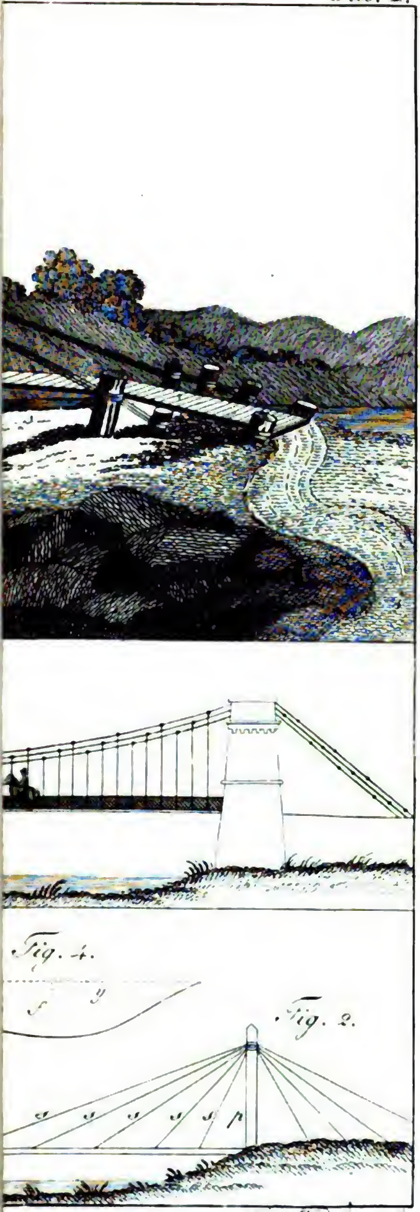
Als einen Anhang zu den bisherigen Untersuchungen erwähne ich noch ein Hygrometer, welches unter die bisher beschriebene Classe von Apparaten nicht gehört, durch seinen Erfinder, Guyton-Morveau, aber mit diesem Namen belegt ist[2]. Die Bestimmung desselben ist, die in einer gewissen Quantität Gas enthaltene Feuchtigkeit zu messen, oder dieselbe daraus zu entfernen und das Gas trocken darzustellen. Ein kleines, in den Ring d gefaſstes, Gläschen a, durch den Deckel b fest verschlossen, wird vermittelst der Handhabe m n unter die durch Quecksilber abgesperrte Campane A gebracht, worin sich das zu prüfende Gas befindet, dann der Deckel b vermittelst des herabhängenden Stieles e f geöffnet, und in dieser Lage so lange Fig. 148.

1 S. Th. II. S. 351 und 385.
2 S. Ann. de Chim. LXVIII. 1. G. XXXI. 417.

erhalten, bis alle Feuchtigkeit absorbirt ist, demnächst wieder verschloſsen, und das ganze Gefäſs herausgenommen, um die Quantität der Feuchtigheit durch den Unterschied des Gewichtes vor dem Hineinbringen und nach dem Herausnehmen zu bestimmen. Wegen des Gebrauches unter Quecksilber muſs die Fassung ganz von Eisen seyn, und auf genaues Schlieſsen des Deckels gesehen werden. Der Zweckmäſsigkeit dieses Apparates ungeachtet sieht man bald, daſs die Gröſse dieses Gefäſses, die Menge des enthaltenen salzsauren Kalkes und die Masse der Fassung nebst der Handhabe leicht ein zu groſses Gewicht für die geringe Quantität der zu absorbirenden Feuchtigkeit haben können, wodurch die Gewichtsbestimmung der letzteren minder genau wird. Diesem kann etwas abgeholfen werden, wenn man das Glas klein und möglichst dünn wählt, auſserdem aber den Apparat so einrichtet, daſs Handhaben und Fassung sich abnehmen lassen und bloſs das Gläschen mit seinem fest schlieſsenden Deckel gewogen wird. Zugleich aber muſs dahin gesehen werden, daſs kein Quecksilber an demselben hängen bleibt, welches sonst ein unrichtiges Resultat herbeiführen würde. *M.*

Digitized by Google

Tab. I.



Digitized by Google

Fig. 8.

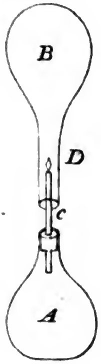



Fig. 14.

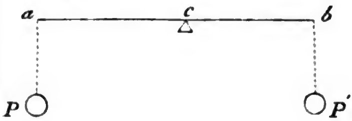



Fig. 18.

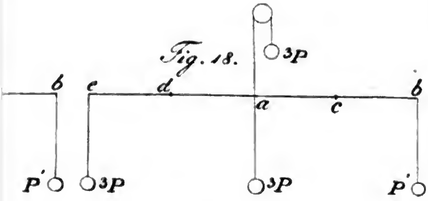



Fig. 23.

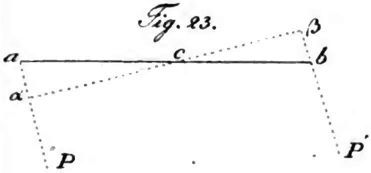
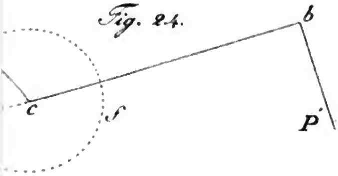



Fig. 24.




Ant. Karcher Sc.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google